

出國報告（出國類別：其他）

參加 BIS 舉辦之
「投資組合分析研討會」
(Portfolio Analytics Workshop)
出國報告

服務機關：中央銀行

姓名職稱：沈采妮 四等專員

派赴國家/地區：瑞士/Brunnen

出國期間：113 年 6 月 15 日至 6 月 23 日

報告日期：113 年 9 月 10 日

摘要

債券風險因子與投資組合報酬息息相關，唯有瞭解風險因子特性，以及風險因子如何影響投資組合報酬，才能控管風險，建構收益穩健的投資組合。本報告先說明債券價值與利率的關係，再以風險為基礎，介紹債券常見風險因子，推導債券報酬對各項風險因子的敏感度，接著衡量債券投資組合績效，並將影響績效的原因依風險來源區分為時間報酬、曲線報酬、凸性報酬、信用報酬與匯率報酬，最後介紹對央行投資組合管理日益重要的氣候風險與永續責任投資議題。

目 錄

壹、前言	1
貳、債券價值與利率	2
一、折現因子與利率概念	2
二、配適殖利率曲線.....	4
參、債券風險與績效	8
一、風險因子及敏感度.....	8
二、投資組合績效分析.....	15
肆、央行投資組合之氣候風險議題	22
一、氣候風險.....	22
二、永續責任投資.....	23
三、央行面臨之氣候風險挑戰	25
伍、心得與建議	26
一、心得.....	26
二、建議.....	27
參考資料.....	28

壹、前言

本次參加 BIS 舉辦之「投資組合分析研討會」(Portfolio Analytics Workshop)，為期四天半；除本行外，計有來自比利時、巴西、加拿大、智利、法國、德國、馬來西亞、西班牙、瑞士、泰國、英國、美國等國央行、歐盟執行委員會 (European Commission)、歐洲央行及紐約聯邦準備銀行等機構共 51 位學員參與；研討會講師由 BIS 銀行部門中台 (middle office) 資深投資風險分析師擔任。

研討會的目標是分析債券投資組合的績效(performance)與風險，透過瞭解債券的風險因子 (risk factors)，解析影響投資組合價值的因素與變動情形，再逐步建構包含各項風險的投資組合報酬率模型，最後藉由當前市場數據推估未來投資組合報酬的波動程度。此外，為加深學員對課程內容的理解與應用，主辦單位設計分組競賽活動，讓學員練習在符合各種風險條件下，配置出最適債券投資組合。

除研討會介紹的傳統債券風險類別外，國際間越來越重視的氣候風險，也成為投資債券不容忽視的議題，本報告將以央行作為投資人的角度，簡述央行外匯存底管理納入永續責任投資概念的可能挑戰。本報告分五章，第壹章為前言；第貳章說明債券價值與利率之關係；第參章分析債券風險與績效成因；第肆章介紹央行債券投資組合面臨之氣候風險；最後為心得與建議。

貳、債券價值與利率

利率是影響債券價值的重要因素，將債券未來各期現金流量依折現率折算現值後加總，即可得債券現值。利率有很多種，要選擇哪一種利率作為債券評價的折現率視使用目的而定，以下介紹債券評價常用的利率相關概念、特性及使用時機。

一、折現因子與利率概念

(一) 折現因子 (discount factor)

折現因子是未來某時點 1 元的現在價值， DF_T 則代表在未來 T 日 1 元的現值，對於相同時點 T，折現因子的大小取決於債券發行人的信用品質，發行人信用品質越好，折現因子越大，通常公債的折現因子大於公司債的折現因子。

所有未來日期的折現因子連線構成完整的折現曲線，一旦取得所有折現因子，即可算出所有已知未來現金流量的現值，但實務上通常以利率取代折現因子來評估債券價值，因利率可表達年化投資報酬率的概念，且通常較折現因子直觀、容易理解。折現因子與利率兩者具一一對應關係，可互相轉換，評估債券價值常用的利率為零息利率與到期殖利率。

(二) 零息利率 (zero coupon rate)

零息債券於到期時一次還本付息，期間不支付利息，通常以折價發行，並於到期時支付債券面額 (face value)，利息隱含於折價中，持有零息債券至到期的報酬率即為零息利率，以 Z_T 表示。假設在今天 t 日投資 DF_T ，在未來 T 日將獲得 1 元，則折現因子 DF_T 與零息利率 Z_T 的關係式如(1)式，債券現值 V 與零息利率 Z_T 的關係式如(2)式。

$$DF_T(1 + Z_T)^{T-t} = 1 \quad (1)$$

$$V(t, Z_T) = DF_T = \frac{1}{(1 + Z_T)^{T-t}} \quad (2)$$

實務上債券多為付息債券，投資人於持有債券期間，根據債券的付息頻率與票面利率（coupon rate）定期收取利息，在債券到期時收取本金與利息。付息債券概念上可拆解為數個僅有一期現金流量的零息債券，將付息債券各期現金流量 C_{T_j} 依對應的零息利率 Z_{T_j} 折現後加總，即為付息債券現值，計算如(3)式。

$$V(t, Z_{T_j}) = \sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j}}{(1 + Z_{T_j})^{T_j-t}} \quad (3)$$

(三) 到期殖利率 (yield to maturity)

到期殖利率是持有付息債券至到期的年化報酬率，為各期現金流量的單一折現率，是(3)式中各零息利率 Z_{T_j} 的平均值，各期現金流量均依相同的殖利率 y 折算現值後加總，即可得債券現值如(4)式。

$$V(t, y) = \sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j}}{(1 + y)^{T_j-t}} \quad (4)$$

從債券價格可推算出殖利率，但通常債券已經以殖利率的形式報價。實務上債券價格與殖利率的關係式通常比較像是(5)式，惟為方便理解債券評價概念，簡化關係式如(4)式。

$$V(t, y) = \frac{1}{(1 + y/f)^{\alpha_t}} \sum_{j=0}^n \frac{c/f}{(1 + y/f)^j} + \frac{1}{(1 + y/f)^n} \quad (5)$$

其中 y 是到期殖利率； c 是票面利率； f 為付息頻率； α_t 是從今天 t 來看，下一個交割日與下一個付息日之間的時間比例。

如果債券的票面利率等於殖利率，該債券會以面額交易，此時的殖利率為平價殖利率（par yield），通常提到幾年期債券殖利率時，指的就是幾年期平價殖利率。

折現因子與零息利率均僅涉及一期現金流量，形式簡單容易計算，是債券評價的基礎，惟零息利率通常不可透過直接觀察債券特性得知，須利用市場上可直接觀察的殖利率推算零息利率，再藉由拔靴法（bootstrapping）或配適模型法（fitting a model）建構零息利率曲線。

二、配適殖利率曲線（fitting yield curve）

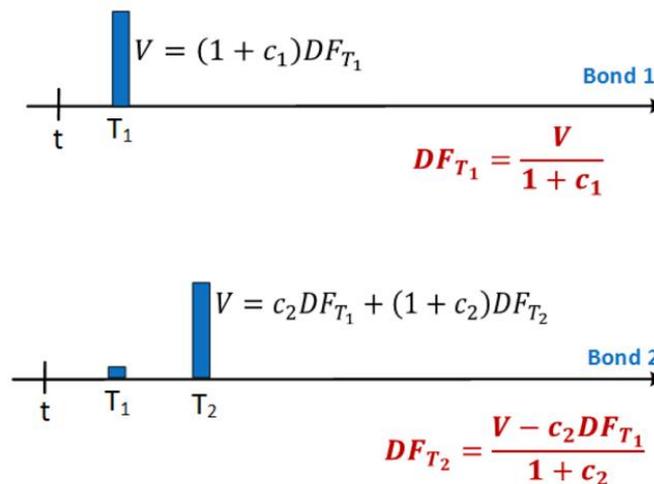
殖利率曲線（yield curve）亦稱為利率期限結構（term structure of interest rates），是描繪債券殖利率與到期期限關係的一條曲線，公債殖利率曲線通常也被視為無風險利率曲線。短期利率與長期利率的相對水準取決於市場對未來短期利率的預期，而殖利率曲線的斜率可作為預測未來經濟活動的指標，曲線變陡峭通常隱含經濟活動加速；曲線變平坦，特別是倒掛，通常表示經濟活動即將放緩。

付息債券的殖利率曲線會受票息效果（coupon effect）影響，相同到期期限的債券，因票面利率不同，導致殖利率差異；而零息利率曲線可排除票息效果的影響，繪製的曲線較能明確表達利率與債券剩餘年限的關係，適合用於債券評價與衡量風險，以下介紹配適利率曲線常用的拔靴法與 Nelson Siegel 模型。

(一) 拔靴法 (bootstrapping)

拔靴法的概念是建立一條零息利率曲線，使得利用曲線上零息利率算出的債券價格等於市場上觀察到的債券價格。簡單拔靴法是從一期現金流量開始，以債券的市場價格（為殖利率的函數）算出第一個折現因子後，每次增加一期現金流量，逐步運用已知的折現因子與市場價格推算出各特定時點的折現因子（示意圖如圖 1），再藉由折現因子與零息利率的關係式計算各時點的零息利率，最後利用內插法（interpolation method）求出其他時點的零息利率。

圖 1 利用拔靴法求折現因子示意圖



資料來源：本次研討會講義。

如果要讓建構的零息利率曲線算出的債券價格符合所有觀察到的市場價格，則必須要在拔靴法中納入所有的債券，不過這會使建構的零息利率曲線有太多尖點（spikes），另一種建構零息利率曲線的方式是，運用關鍵利率（key rate）結構取代債券殖利率作為拔靴法流程中的輸入值，以控制解釋變數的數量，例如用標準期限（1年、2年、10年等）的平價殖利率作為關鍵利率，接著令所有債券價格是關鍵利率的函數，再以此推算所有時點的零息利率。

(二) Nelson Siegel 模型

Nelson 與 Siegel 於 1987 年提出配適殖利率曲線的參數模型，特色是利用較少的估計參數即可描繪出殖利率曲線的形狀，概念是將利率 r_T 寫成水準 (level)、斜率 (slope) 與曲度 (curvature) 的函數，如 (6) 式：

$$r_T = \beta_0 \cdot \underbrace{\alpha_{0,T}}_{\text{level}} + \beta_1 \cdot \underbrace{\alpha_{1,T}}_{\text{slope}} + \beta_2 \cdot \underbrace{\alpha_{2,T}}_{\text{curvature}} \quad (6)$$

模型因子 α_0 、 α_1 、 α_2 是債券期限 T 的函數，Nelson Siegel 模型的目標是找出參數 β_0 、 β_1 、 β_2 ，使算出的利率 r_T 與市場數據達成良好適配性， r_T 可適配債券殖利率或零息利率。完整的 Nelson Siegel 模型如 (7) 式：

$$r_T = \beta_0 \cdot 1 + \beta_1 \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-\tau}{\lambda}\right)\right] \cdot \frac{\lambda}{\tau} + \beta_2 \cdot \left\{ \left[1 - \exp\left(\frac{-\tau}{\lambda}\right)\right] \cdot \frac{\lambda}{\tau} - \exp\left(\frac{-\tau}{\lambda}\right) \right\} \quad (7)$$

上式中 $\tau = T - t$ 為債券到期期限，參數 β_0 、 β_1 、 β_2 取決於事先決定的固定參數 λ 。各參數說明如下：

β_0 ：必為正數，為長期利率水準的漸近值，代表殖利率曲線的水平移動。

β_1 ：為短期因子，表示短期值與長期漸近值的差異，代表殖利率曲線的斜率變化，若為負數表示殖利率曲線為正斜率，反之則為負斜率，絕對值越大則曲線越陡峭。

β_2 ：為中期因子，表示殖利率曲線峰態的大小與方向，代表殖利率曲線的曲度變化，若為正數表示殖利率曲線為駝峰型 (hump)，負數表示曲線為 U 字型 (U-shaped)。

λ ：為衰退因子，必為正數，表示駝峰或 U 字型的位置，決定 β_1 與 β_2 的收斂速度， λ 越小兩者收斂速度越快，即短期與中期因子的影響力衰退較快， λ 越大則兩者收斂速度越慢。

本章主要從利率的角度，透過建構與債券市場價格達成良好適配性的零息利率曲線、關鍵利率曲線或殖利率曲線，分析市場上不同天期利率變動會如何影響債券價值。下一章將從風險的角度，辨識會影響債券價格的風險因子，並將債券價格寫成風險因子的函數，探討風險因子變動對債券價格與報酬的影響。

參、債券風險與績效

投資債券面臨多樣風險，若想獲得較高的風險溢酬（risk premium），則須承擔較高的風險。債券風險因子是影響債券價格的重要因素，市場上風險因子的變動牽動著投資組合的績效表現，因此建立債券投資組合前，應先瞭解債券投資標的對各項風險因子的敏感度（sensitivity），才能建立符合自身風險承受度的投資組合，並根據預期風險因子變動調整投資組合的債券配置。

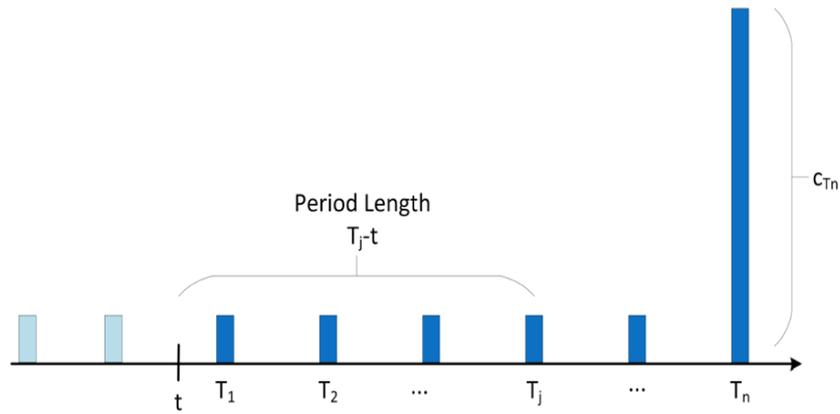
一、風險因子及敏感度

債券風險因子模型有助於投資組合經理人建立符合各項風險承擔能力的債券投資組合，理想上風險因子模型需掌握所有相關風險，能精確解釋債券價值變動的原因，不必包含太多風險因子，而是合理整合風險，以評估債券投資組合的風險與報酬。債券傳統風險因子包括時間、利率、信用利差（credit spreads）及匯率等，以下將從時間及利率開始，逐步建構債券風險因子模型，並推導債券報酬對風險因子的敏感度。

圖 2 為債券現金流量圖，其中 t 表示現在時點， T_1, \dots, T_n 代表未來現金流量的時點， $T_j - t$ 表示未來現金流量時點距離現在的時間長度，若以 C_{T_1}, \dots, C_{T_n} 表示未來現金流量，則現在債券價值 V 可寫成時間 t 與殖利率 y 的函數如(8)式。

接下來分析時間經過 Δt 或殖利率變動 Δy 會如何影響債券價值 $V(t, y)$ ，利用一階泰勒展開式，分別對 t 與 y 做偏微分後，可將債券價值的變動拆解成對時間變動的敏感度乘以時間變動量與對殖利率變動的敏感度乘以殖利率變動量如(9)式，而報酬 r ，可以債券價值變動相對於現值的比例表示，即(10)式。

圖 2 債券現金流量圖



資料來源：本次研討會講義。

$$V = V(t, y) = \sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j}}{(1 + y)^{T_j - t}} \quad (8)$$

$$\Delta V \approx \frac{\partial V}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial V}{\partial y} \Delta y \quad (9)$$

$$r = \frac{\Delta V}{V} \quad (10)$$

債券價值 $V(t, y)$ 對時間 t 的敏感度經推導後可得(11)式，為殖利率乘以債券價值。

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} &= \frac{\partial V(t, y)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j}}{(1 + y)^{T_j - t}} \right) \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \left(\sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j}}{e^{(T_j - t) \ln(1 + y)}} \right) \\ &= \sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j} \cdot \ln(1 + y)}{e^{(T_j - t) \ln(1 + y)}} = \ln(1 + y) \cdot V(t, y) \\ &\approx y \cdot V(t, y) = y \cdot V \end{aligned} \quad (11)$$

時間微幅變動 Δt 對債券報酬 r 的影響如(12)式，為殖利率乘以時間變動量。

$$r = \frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\partial V}{\partial t} \Delta t \cdot \frac{1}{V} = y \cdot V \cdot \Delta t \cdot \frac{1}{V} = y \cdot \Delta t \quad (12)$$

債券價值 $V(t, y)$ 對殖利率 y 的敏感度經推導後可得(13)式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial y} &= \frac{\partial V(t, y)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j}}{(1+y)^{T_j-t}} \right) \\ &= -\frac{1}{(1+y)} \sum_{j=1}^n \frac{(T_j - t) C_{T_j}}{(1+y)^{T_j-t}} \end{aligned} \quad (13)$$

將債券價值對殖利率的敏感度除以債券價值可得修正存續期間 (modified duration)，讓修正存續期間 D 以正數表示的公式如(14)式：

$$\begin{aligned} D &= -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{1}{V(t, y)} \frac{\partial V(t, y)}{\partial y} \\ &= -\frac{1}{V(t, y)} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left(\sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j}}{(1+y)^{T_j-t}} \right) \\ &= \frac{1}{V(t, y)} \frac{1}{(1+y)} \sum_{j=1}^n \frac{(T_j - t) C_{T_j}}{(1+y)^{T_j-t}} \end{aligned} \quad (14)$$

殖利率微幅變動 Δy 對債券報酬 r 的影響如(15)式，殖利率與債券報酬呈反向變動。

$$r = \frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\partial V}{\partial y} \Delta y \cdot \frac{1}{V} = -\left(-\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial y} \right) \Delta y = -D \cdot \Delta y \quad (15)$$

債券價格與殖利率的關係是一條凸向原點的曲線，具凸性 (convexity) 而非線性，債券期限越長，曲線彎曲的程度越大，凸性

越高，以修正存續期間線性估計殖利率變動對債券價格影響時，越容易偏離實際值。為解決此問題，須利用二階泰勒展開式，再次對殖利率偏微分，將殖利率微幅變動 Δy 對債券報酬 r 的影響改寫成(16)式， C 表示凸性，必為正數，是債券價值對殖利率做二次偏微分再除以債券價值。

$$r = \frac{\Delta V}{V} \approx -D \cdot \Delta y + \frac{1}{2} C (\Delta y)^2 \quad (16)$$

前面探討的是在同一條殖利率曲線上，時間與殖利率變動對債券價值的影響，而在債券投資組合中，債券的信用等級與殖利率曲線必然不盡相同，評估整體投資組合的風險因子時，須考量信用利差 (credit spread)，將殖利率 y 分成主權債券殖利率 \hat{y} 與信用利差 s ，即 $y = \hat{y} + s$ ，並將債券價值 V 改寫成時間 t 、主權債券殖利率 \hat{y} 與信用利差 s 的函數如(17)式：

$$V = V(t, y) = V(t, \hat{y}, s) = \sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j}}{(1 + \hat{y} + s)^{T_j - t}} \quad (17)$$

債券價值 $V(t, \hat{y}, s)$ 對信用利差 s 的敏感度經推導後可得(18)式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial s} &= \frac{\partial V(t, \hat{y}, s)}{\partial s} = \frac{\partial}{\partial s} \left(\sum_{j=1}^n \frac{C_{T_j}}{(1 + \hat{y} + s)^{T_j - t}} \right) \\ &= - \frac{1}{(1 + \hat{y} + s)} \sum_{j=1}^n \frac{(T_j - t) C_{T_j}}{(1 + \hat{y} + s)^{T_j - t}} \\ &= - \frac{1}{(1 + y)} \sum_{j=1}^n \frac{(T_j - t) C_{T_j}}{(1 + y)^{T_j - t}} \end{aligned} \quad (18)$$

由(18)式可知債券價值 V 對信用利差 s 的敏感度與對殖利率 y 的敏感度相同，將債券價值對信用利差的敏感度除以債券價值可得信用利差存續期間 (spread duration)，讓信用利差存續期間 D_s 以正數表示的公式如下，經推導後可知信用利差存續期間 D_s 等於修正存續期間 D ，見(19)式。

$$\begin{aligned}
 D_s &= -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial s} = -\frac{1}{V(t, \hat{y}, s)} \frac{\partial V(t, \hat{y}, s)}{\partial s} \\
 &= \frac{1}{V(t, \hat{y}, s)} \frac{1}{(1 + \hat{y} + s)} \sum_{j=1}^n \frac{(T_j - t)C_{T_j}}{(1 + \hat{y} + s)^{T_j - t}} \\
 &= \frac{1}{V(t, \hat{y}, s)} \frac{1}{(1 + y)} \sum_{j=1}^n \frac{(T_j - t)C_{T_j}}{(1 + y)^{T_j - t}} = D \quad (19)
 \end{aligned}$$

信用利差微幅變動 Δs 對債券報酬 r 的影響如(20)式，信用利差與債券報酬呈反向變動。

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\partial V}{\partial s} \Delta s \cdot \frac{1}{V} = -\left(-\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial s}\right) \Delta s \\
 &= -D_s \cdot \Delta s = -D \cdot \Delta s \quad (20)
 \end{aligned}$$

在分析債券投資組合對利率風險的敏感度時，可以加權平均修正存續期間估計殖利率變動對整體報酬的影響，惟此方法是假設不同期限債券殖利率有相同的變動幅度，而實際上不同期限的債券，殖利率變動的幅度並不相同，以加權平均修正存續期間無法準確估計殖利率變動對整體報酬的影響；另一種方式是，不以個別債券的殖利率評價債券，而是以一組共同的關鍵利率 (key rates) 作為風險因子，將所有債券價值均寫成關鍵利率的函數，評估關鍵利率變動對整體投資組合報酬的影響。

將標準年限的平價殖利率（如 y_{1y}, \dots, y_{10y} ）作為關鍵利率，將債券價格以關鍵利率的函數表示如(21)式，再利用拔靴法與內插法從所選的關鍵利率導出債券現金流量時點的零息利率。

$$V = V(t, y_{1y}, \dots, y_{10y}) \quad (21)$$

以 D_k 表示第 k 個關鍵利率的存續期間，依前述推導方式，第 k 個關鍵利率微幅變動 Δy_k 對債券報酬的影響為 $-D_k \Delta y_k$ 。

綜合前述時間 t 、主權債券殖利率 \hat{y} 、凸性 C 、信用利差 s 及關鍵利率 y_k 對債券報酬 r 的影響，債券報酬可拆解成時間報酬(carry return)、曲線報酬(curve return)（主權債券殖利率曲線或關鍵利率曲線）、信用報酬(credit return)及凸性報酬(convexity return)，如(22)式。

$$\begin{aligned} r &\approx y\Delta t - D\Delta y + \frac{1}{2}C(\Delta y)^2 \\ &\approx y\Delta t - D(\Delta\hat{y} + \Delta s) + \frac{1}{2}C(\Delta y)^2 \\ &\approx \underbrace{y\Delta t}_{\text{Carry}} - \underbrace{D\Delta\hat{y}}_{\text{Curve}} - \underbrace{D_S\Delta s}_{\substack{\text{Credit} \\ D = D_S}} + \underbrace{\frac{1}{2}C(\Delta y)^2}_{\text{Convexity}} \\ &\approx \underbrace{y\Delta t}_{\text{Carry}} - \underbrace{\sum_k D_k \Delta y_k}_{\substack{\text{Curve with} \\ \text{key rates}}} - \underbrace{D_S\Delta s}_{\text{Credit}} + \underbrace{\frac{1}{2}C(\Delta y)^2}_{\text{Convexity}} \end{aligned} \quad (22)$$

若投資組合中部分債券以外幣計價，則進行投資組合債券評價時，須將外幣計價之債券轉換為本國貨幣，此時需考量匯率變動對債券報酬的影響。將經幣別轉換後的債券價值以 V^* 表示，匯率以 E 表示，可得下列關係式：

$$V^*(t, y, E) = E \cdot V(t, y) \quad (23)$$

$$\frac{\partial V^*(t, y, E)}{\partial t} = E \cdot \frac{\partial V(t, y)}{\partial t} \quad (24)$$

$$\frac{\partial V^*(t, y, E)}{\partial y} = E \cdot \frac{\partial V(t, y)}{\partial y} \quad (25)$$

$$\frac{\partial V^*(t, y, E)}{\partial E} = V(t, y) \quad (26)$$

考量匯率因素，完整的債券報酬除原本的時間報酬、曲線報酬、信用報酬、凸性報酬外，亦加入匯率報酬（FX return）如(27)式，其中 \mathbb{I}_{FX} 為指示變數（indicator variable）， $\mathbb{I}_{FX} = 0$ 表示無匯率曝險， $\mathbb{I}_{FX} = 1$ 表示有匯率曝險。

$$r^* \approx \underbrace{y\Delta t}_{\text{Carry return}} - \underbrace{\sum_k D_k \Delta y_k}_{\text{Curve return}} - \underbrace{D_S \Delta s}_{\text{Credit return}} + \underbrace{\frac{1}{2} C (\Delta y)^2}_{\text{Convexity return}} + \underbrace{\mathbb{I}_{FX} \left(\frac{\Delta E}{E} \right)}_{\text{FX return}} \quad (27)$$

總結前述推導結果，債券報酬 r 對各風險因子的敏感度與債券報酬拆解整理如表 1：

表 1 債券風險因子、敏感度與報酬類別彙整

風險因子	敏感度指標	報酬類別	報酬公式
時間 (t)	殖利率 (y)	時間報酬 carry return	$y \cdot \Delta t$
殖利率 (y)	修正存續期間 (D)	主權債券殖利率曲線報酬 curve return	$-D \cdot \Delta \hat{y}$
	凸性 (C)	凸性報酬 convexity return	$\frac{1}{2} C (\Delta y)^2$
關鍵利率 (y_k)	關鍵利率存續期間 (D_k)	關鍵利率曲線報酬 key rates curve return	$-D_k \cdot \Delta y_k$
信用利差 (s)	信用利差存續期間 (D_s)	信用報酬 credit return	$-D_s \cdot \Delta s$
匯率 (E)	匯率指示變數 (\mathbb{I}_{FX})	匯率報酬 FX return	$\mathbb{I}_{FX} \cdot \left(\frac{\Delta E}{E} \right)$

資料來源：本次研討會講義。

除前面介紹的債券傳統風險因子外，近年來投資人越來越重視氣候風險（climate risk）與永續發展議題，不論一般債券或是永續發展債券，投資人漸漸將環境（Environment）、社會（Social）與治理（Governance）因素納入投資考量，企業與國家應對氣候風險能力、永續經濟轉型成功與否等將影響其發行之債券價值，永續發展風險成為債券新興風險因子。

不同於債券傳統風險因子，可經由數學推導得出債券報酬對風險因子的敏感度，有關永續發展風險如何衡量，以及將如何影響債券價格等，尚未有一致性標準，如何評估永續發展風險並將風險整合至債券投資組合風險管理系統，仍須根據國際間實務發展滾動式調整債券風險模型。

二、投資組合績效分析

績效分析（performance analysis）主要分為績效衡量與績效歸屬，分別代表衡量投資組合的績效高低與探討績效從何而來。

（一）績效衡量（performance measurement）

績效衡量是評估某段期間投資組合的表現，當評估期間涉及資金投入或提出時，計算上較為複雜。若以 S 表示期初， E 表示期末， T 表示評估期間資金投入時點，且 $S < T \leq E$ ，並以 I_T 表示 T 時點投入的金額，則在 T 時點投入資金對期末投資組合價值 V_E 所造成的影響包括投入的金額 I_T ，以及投入金額 I_T 在 T 與 E 期間的績效表現，而 I_T 的績效表現與投入資金的時點 T 有關。

若不考慮資金投入，報酬率計算方式為投資增值（added value）除以投入資本（capital invested），即(28)、(29)式。

$$r = r_{S,E} = \frac{V_E - V_S}{V_S} \quad (28)$$

$$1 + r_{S,E} = \frac{V_E}{V_S} \quad (29)$$

考慮資金投入的情況下，若 $T = E$ ，即投入資金時點為期末， $I_T = I_E$ ，投入資金並不會影響評估期間投資組合的績效表現，因此與一般計算報酬率的方式相同，將投資增值除以投入資本得到報酬率，見(30)式。

$$r = r_{S,E} = \frac{V_E - V_S - I_E}{V_S} \quad (30)$$

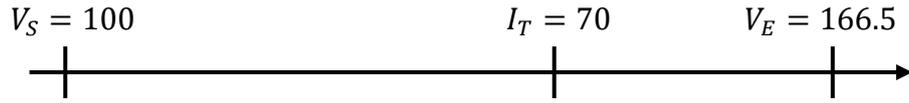
若 $T \neq E$ ，則須分析 V_E 受 I_T 的影響程度，以下分別介紹二種計算報酬率的方式：資金加權報酬率與時間加權報酬率。

1. 資金加權報酬率 (money weighted return)

Modified Dietz 是常用的資金加權法，根據投入資金的時間點給予 I_T 權重，以計算加權平均投入資本，此方法考慮到投入資金的時機，報酬率計算方式是投資增值除以平均投入資本，公式如(31)式。

$$r^{MD} = r_{S,E}^{MD} = \frac{V_E - V_S - I_T}{V_S + \frac{E - T}{E - S} \cdot I_T} \quad (31)$$

範例 1: 假設期初投資組合價值 $V_S = 100$ ，期末投資組合價值 $V_E = 166.5$ ，在評估期的五分之三投入資金 $I_T = 70$ ，如下所示，則 Modified Dietz 報酬率計算如(32)式。



$$r_{S,E}^{MD} = \frac{166.5 - 100 - 70}{100 + \frac{2}{5} \cdot 70} = -2.73\% \quad (32)$$

2. 時間加權報酬率 (time weighted return)

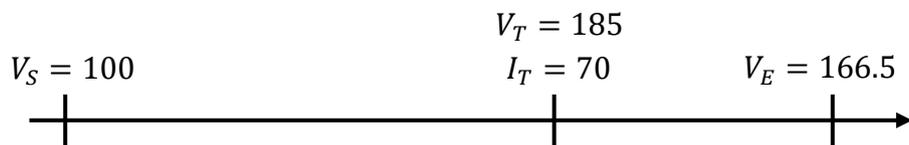
時間加權報酬率的概念是依投入資金的時點，將評估期間切分成各個時間段，意思是將評估期間[S,E]分成[S,T]與[T,E]時間段，各時間段均只有在末端有資金投入，表示投入資金不會影響各時間段的績效表現，此外還需要知道投入資金時點的投資組合價值 V_T 才能計算報酬率，公式如(33)、(34)、(35)式。

$$r^{TW} = r_{S,E}^{TW} = (1 + r_{S,T})(1 + r_{T,E}) - 1 \quad (33)$$

$$r_{S,T} = \frac{V_T - V_S - I_T}{V_S} \quad (34)$$

$$r_{T,E} = \frac{V_E - V_T}{V_T} \quad (35)$$

範例 2：假設同範例 1，且投入資金時點的投資組合價值 $V_T = 185$ ，如下所示，則時間加權報酬率計算如(36)式。



$$\begin{aligned} r_{S,E}^{TW} &= \left(1 + \frac{185 - 100 - 70}{100}\right) \left(1 + \frac{166.5 - 185}{185}\right) - 1 \\ &= (1 + 15\%)(1 - 10\%) - 1 = 3.5\% \end{aligned} \quad (36)$$

若無資金投入，或僅在期底投入資金，資金加權與時間加權兩種報酬率計算結果與一般報酬率結果相同；若評估期間為每日，則兩種報酬率計算結果均會相同。在有資金投入的情況下，投資組合經理人要選擇哪一種加權方式計算報酬率依其使用目的而定。資金加權報酬率與時間加權報酬率的比較如表 2。

表 2 Modified Dietz 報酬率與時間加權報酬率之比較

	Modified Dietz 報酬率	時間加權 報酬率
與評估期間投資增值結果具一致性	是	否
有助於管理資金	是	是
有助於分析資金投入時機	是	否
與投入資金多寡有關	是	否
須知投入資金時點的投資組合價值	否	是

資料來源：本次研討會講義。

(二) 績效歸屬 (performance attribution)

績效歸屬為投資流程中重要的一環，藉由分析投資組合績效來源，有助於經理人建構最適投資組合。績效歸屬亦為衡量投資組合經理人決策有效性的量化方法，例如投資組合經理人可能會預測殖利率曲線變陡峭或平坦，因而相較於基準指標 (benchmark) 增加或減少持有特定債券，績效歸屬有助於經理人及高階管理層瞭解這些投資部位的績效表現。

績效歸屬源自股票投資組合分析，其應用於資產配置 (asset allocation) 與證券選擇 (security selection)，透過與基準指標 (benchmark) 相比，增加或減少不同資產類別，以及在同一資產類別中增加或減少個別證券的持有比重，以追求超額報酬。

以上概念亦可應用於債券投資組合，而債券的績效歸屬分析會更著重於以利率作為驅動因子，對高品質債券而言，殖利率曲線的改變是影響債券報酬的關鍵，考慮到包含外幣計價債券之投資組合時，信用利差與匯率亦相當重要。

前一節將債券價值寫成風險因子的函數，並推導將債券報酬拆解成與各風險因子相關的報酬類別，本節將以此為基礎，介紹債券投資組合的績效來源。

1. 時間報酬 (carry return)

與時間經過有關的報酬，根據切入角度不同，可再細分成「票息報酬與回歸面額報酬」或「無風險時間報酬與信用風險時間報酬」。

(1) 票息報酬 (coupon return) 與回歸面額報酬 (pull to par return)

$$\text{票息報酬} = \text{票面利率} \times \text{時間變動量}(\Delta t)$$

$$\text{回歸面額報酬} = (\text{殖利率}(y) - \text{票面利率}) \times \text{時間變動量}(\Delta t)$$

(2) 無風險時間報酬 (risk-free carry return) 與信用風險時間報酬 (credit carry return)

$$\text{無風險時間報酬} = \text{主權債券殖利率}(\hat{y}) \times \text{時間變動量}(\Delta t)$$

$$\text{信用風險時間報酬} = \text{信用利差}(s) \times \text{時間變動量}(\Delta t)$$

2. 曲線報酬 (curve return)

與主權債券殖利率曲線或無風險利率曲線改變有關的報酬，對高品質債券而言，曲線報酬是影響債券報酬最主要的因素。由於殖利率曲線並非平行移動，不同期限殖利率的增減幅度並不相同，為瞭解殖利率曲線的變化情形，以及曲線變化如何影響債券報酬，可利用關鍵利率存續期間或殖利率曲線模型細部解析曲線報酬。

(1) 關鍵利率存續期間

目的：瞭解殖利率曲線不同期限部分變動對曲線報酬的貢獻。

分析方式：先以關鍵期限（key tenors）的利率作為關鍵利率配適殖利率曲線，再以該曲線評估債券價值，並計算債券報酬對關鍵利率的敏感度，最後將關鍵利率變動量代入報酬敏感度公式，算出不同期限的關鍵利率變動對債券報酬的影響。

(2) 曲線模型

目的：瞭解殖利率曲線水準（level）、斜率（slope）與曲度（curvature）三個部分對曲線報酬的貢獻。

分析方式：先以 Nelson Siegel 模型配適符合市場利率的殖利率曲線，再觀察水準、斜率與曲度三個因子如何變化，以瞭解各因子對債券報酬的影響。

3. 信用報酬（credit return）

與債券信用利差改變有關的報酬，信用利差擴大，會為債券帶來負向報酬；信用利差縮緊，會為債券帶來正向報酬。

4. 匯率報酬（FX return）

與匯率改變有關的報酬，若外幣相對於本國貨幣升值，則以該外幣計價的債券會有正向報酬；若外幣相對於本國貨幣貶值，則有負向報酬。

(三) 估計投資組合報酬

投資組合未來的報酬率具不確定性（uncertainty），報酬率變化的結果及各結果發生的機率均難以預測，但可藉由統計方法估計未來報酬率的平均值、標準差等統計特性（statistical properties），評估報酬率可能會落在什麼區間。

在前面章節推導風險因子與債券報酬關係的基礎上，先利用線性近似 (linear approximation) 將投資組合報酬率寫成近似於風險因子變動的線性函數如(37)式，其中 r 為整體投資組合報酬率， δ 為報酬對風險因子敏感度的矩陣， T 為矩陣的轉置符號， M 為市場上風險因子變動 (market movements) 的矩陣。

$$r \approx \delta^T M \quad (37)$$

接著選擇可解釋投資組合中多數債券報酬變動的共同風險因子，分析風險因子變動的標準差 (standard deviations) 與相關性 (correlations)，再利用上面報酬與風險因子變動的關係式算出投資組合報酬率的標準差如(38)式，以掌握報酬的波動程度。

$$\sigma_r \approx \sqrt{\delta^T \Sigma_M \delta} \quad (38)$$

在分析風險因子變動時，通常會從歷史資料著手，以過去風險因子變動資料估計未來變動，然而歷史資料顯示，金融市場具波動群聚性 (Volatility Clustering)，風險因子變動會經歷大大小小的波動期，大幅度波動緊接著大幅度波動，小幅度波動亦緊接著小幅度波動，風險因子變動程度並不固定。

因此，根據評估期間選擇適合的歷史資料相當重要，先辨識目前市場環境是屬於高波動期或低波動期，再根據報酬評估期間長短決定所選歷史資料區間，以及是否要給予不同時間資料不同的權重。

評估短期報酬時，由於短期較可能與評估當時處於相同波動期，越近期資料越能解釋短期報酬變動，因此可給予近期歷史資料較高的權重，例如使用指數衰減因子 (exponential decay factor) 區分權重；而評估長期報酬時，較可能經歷不同波動期，以長期歷史資料的平均值較能解釋長期報酬變動。

肆、央行投資組合之氣候風險議題

一、氣候風險 (climate risk)

不利氣候事件發生的頻率與嚴重性日益漸增，氣候變遷衍生之有形風險 (physical risks) 與轉型風險 (transition risks) 除導致大量經濟損失外，更透過經濟部門傳遞至金融部門，對整體金融穩定構成威脅，氣候風險及永續轉型成為國際間關注的重點。

央行外匯存底主要投資於主權國家、超國家發行的高品質債券，就外匯存底投資運用而言，主權債券發行人的氣候曝險程度可作為評估發行人違約機率與債券價值的指標，投資綠色債券等永續發展相關債券亦能促進永續金融市場發展，因此瞭解氣候風險及其衡量方法對央行投資組合風險管理至關重要。

(一) 氣候風險類別

1. **有形風險**：指因洪水、乾旱等極端氣候事件造成的立即性衝擊，與海平面上升、土壤侵蝕等長期性影響，導致經濟部門營運中斷、資產價值減損等。
2. **轉型風險**：指追求低碳經濟的過程中，因氣候政策轉變、消費行為改變等產生的風險。

(二) 主權債券氣候風險衡量

衡量氣候風險的方法大致分為前瞻式 (forward-looking) 與回顧式 (backward-looking)，回顧式衡量因為有歷史資料可供計算，評估上相對簡單，但未能考慮到永續轉型計畫對未來的影響；前瞻式衡量可依據不同情境估計溫室氣體排放量等氣候特性，但假設的條件較多，因此也較具不確定性，兩種衡量方法各有優缺點，互相搭配應用才能較有效評估氣候風險。

1. 有形風險衡量

利用情境分析，評估主權國家對極端氣候事件等立即性風險及全球暖化等長期性風險之可能經濟損失、應對風險能力與災後復原能力，並考量可能傳遞有形風險的管道，如國際貿易關係等。GDP 是衡量國家經濟表現的關鍵指標，立即性風險不僅會因災後復原措施而立刻產生經濟成本，亦將對經濟成長造成負面影響。歷史災害相關經濟損失占 GDP 的比重，可作為回顧式衡量指標；預期經濟損失占 GDP 的比重，可作為前瞻式衡量指標。

2. 轉型風險衡量

歷史與預計碳排放量為轉型風險的重要指標，高碳排放量國家可能須採取更具破壞性的政策以轉型至低碳經濟，轉型風險較高。此外，化石燃料生產國與高度仰賴化石燃料的國家，亦暴露於較高的轉型風險；目前或預計投資於化石燃料與碳密集型產業，可能暗示轉型風險增加且與既定轉型計畫相違背。

二、永續責任投資(Sustainable and Responsible Investment, SRI)

為響應永續經濟轉型、降低永續發展相關風險並樹立典範，各國央行紛紛將永續責任投資與氣候風險概念納入投資組合管理，本行亦提出因應氣候變遷策略方案，政策措施之一是在確保安全性、流動性及收益性原則下，將綠色債券納入外匯存底管理運用考量。

國際間對氣候風險相關衡量方法及永續責任投資實務仍持續發展中，「綠色金融體系網絡」(Network for Greening the Financial System, NGFS) 於 2024 年 5 月發布「中央銀行投資組合管理之永續責任投資實務與建議」(Sustainable and responsible investment in central banks'

portfolio management-Practices and recommendations))，提出 10 項非約束性建議，鼓勵央行進一步瞭解並採行永續責任投資實務，以樹立典範、促進金融部門永續風險管理發展，以及支持永續經濟轉型。

NGFS 認為央行應積極增強對永續發展風險的認識，設計正式的永續責任投資政策及建立治理架構，並持續監控、報告及評估永續發展風險，根據永續發展目標、相關數據、指標及投資工具的最新進展，滾動式調整並優化永續責任投資政策。NGFS 提出之 10 項永續責任投資建議，概述央行於其投資組合中逐步整合永續責任投資的關鍵步驟，見表 3。

表 3 NGFS 10 項永續責任投資建議之架構

治理 (Governance)		
1. 在不影響央行法定職責的情況下，將永續發展因素納入投資組合。 2. 根據明確的高階 (high-level) 目標設定正式且公開的永續責任投資政策，以提高透明度並表明致力於永續責任投資的承諾。 3. 建立治理架構，以有效引導永續發展因素整合至投資實務。 4. 透過累積永續相關知識與培養員工能力，增強永續發展專業知識。		
第一步：衡量 (Measure)	第二步：行動 (Act)	第三步：評估 (Evaluate)
5. 評定哪些標準與架構有助於增進理解永續發展風險與影響。 6. 評定哪些數據、指標與工具最適合衡量永續發展曝險程度。	7. 將高階目標轉化為具體的永續發展目標，並評估對央行傳統目標的潛在影響。 8. 投資流程整合永續發展因素，並決定永續責任投資策略。	9. 採用符合全球性標準的永續發展揭露實務，以促進全球資訊的可比較性。 10. 定期評估永續責任投資政策，並根據最新知識與實務經驗更新政策。

資料來源：NGFS (2024), “Sustainable and responsible investment in central banks’ portfolio management-Practices and recommendations,” May.

國際永續發展倡議組織眾多，提出之永續發展標準、架構與關注領域不盡相同，對於央行應如何於投資組合管理中整合永續發展考量，目前尚未獲得共識，相關方法論目前仍在發展中。鑑於各國法定職責、投資組合架構及組成因素各有不同，央行應根據其永續發展政策，採用最能幫助央行理解永續發展風險因子的準則，自行評估永續責任投資的適用空間，並根據國際間最新研究發展趨勢適時調整。

三、央行面臨之氣候風險挑戰

(一) 挑選合適的氣候風險指標與數據供應商

在選擇納入考量的永續發展數據、指標與工具時，因相關指標是由數據供應商評估與計算，建構指標使用的數據與假設，可能會因提供資料的數據商不同而有所差異，不同數據商對於同一債券發行人的評分通常呈低度相關，央行應依自身需求謹慎選擇適合其評定永續發展風險的指標與數據商，或採用多家數據商綜合比較指標，以有效評估氣候風險。

(二) 永續發展目標與主要投資目標須取得平衡

投資主權綠色債券亦為央行帶來挑戰，央行外匯存底管理重視安全性、流動性與收益性，主要投資於主權國家、超國家發行的高品質債券，而主權綠色債券發行國家少，與央行傳統投資的債券類別相比無法提供同等流動性，且主權綠色債券通常到期期限長，不符央行傳統投資組合存續期間短的特性，因此面臨管理存續期間風險的挑戰。

央行將氣候風險納入投資組合管理架構越來越重要，惟氣候變遷議題涉及層面廣泛，如何選擇合適的氣候風險指標、有效辨識與衡量主權債券的氣候風險，並將氣候風險轉化為金融風險，反映在主權債券信用風險與價格上，協助央行於職責範圍內進行永續發展相關投資決策，是未來外匯存底管理的重要課題。

伍、心得與建議

一、心得

本次研討會講師先建構理論基礎，再讓學員實際操作電腦，模擬不同債券如何影響整體投資組合的各項曝險 (exposures)，並練習在滿足特定風險條件下，如何挑選債券及調整比重以組成最適投資組合。研討會課程內容豐富紮實，理論與實務兼具，課堂上講師與學員的經驗交流分享，使我對各國投資組合與風險管理架構有更深入的認識，獲益良多。

(一) 瞭解投資組合風險因子變動對整體報酬的影響，有助於建立最適投資組合

投資組合報酬可寫成時間、利率、信用利差及匯率等風險因子的函數，透過分析報酬對風險因子的敏感度，研究不同風險因子的相關性 (correlation) 與共同變動 (co-movement) 等，可得知風險因子變動對投資組合整體報酬的影響程度，有助於在可承擔的風險範圍內，建立最適投資組合。

(二) 根據不同評估期間選擇相應區間的歷史資料並調整權重，才能精確估計投資組合報酬

金融市場具有波動群聚 (volatility clustering) 現象，波動常延續至下一期，高波動期之後緊接著是高波動期，低波動期亦然。風險因子的變化亦會經歷不同程度的高低波動，其統計量 (statistics) 並不固定。藉由估計風險因子變動推估投資組合未來報酬的波動幅度時，應將市場狀態納入考量，例如短期內很可能與目前處於相同波動狀態，評估短期報酬時應採用近期歷史資料，並給予最近的資料較高的權重；而長期很可能經歷數個市場波動狀態轉變，評估長期報酬時應選擇長期歷史資料，並以資料的平均值估計，才能精確推估投資組合報酬。

二、建議

(一) 定期檢視外匯存底投資組合之風險，在可承擔的風險範圍內追求穩定收益

外匯存底的投資操作，應確保充分的安全性與足夠的流動性，以隨時支應外匯市場需要，並在兼顧安全性與流動性的情況下，建立收益較高的投資組合。透過定期檢視投資組合管理架構、風險因子組成與變動情形，以及各項風險因子對整體報酬的影響，並評估在可承擔的風險範圍內，如何調整投資組合才能降低整體報酬的波動度，有助於央行維持收益穩健的投資組合。

(二) 持續關注投資組合管理最新發展趨勢並派員參與相關研討會，以促進國際交流並汲取他國經驗

氣候變遷對人類生存、經濟與金融的威脅與日俱增，氣候風險衡量與永續責任投資等投資組合管理新興概念也越來越重要，藉由參與研討會與各國互相切磋交流，可瞭解各國永續相關風險評估與責任投資實務進展，借鏡他國經驗並持續優化自身投資組合與風險管理系統，亦能與各國搭建友善的溝通橋樑與人脈網絡，有助於即時掌握國際間投資組合管理趨勢，與時俱進。

參考資料

1. 本次研討會講義資料。
2. 葉峻源 (2016), 「參加 BIS 投資組合分析研討會心得報告書」, 中央銀行公務出國報告, 9 月。
3. 謝蕙如 (2023), 「參加 2023 年 BIS 舉辦『投資組合分析研討會』(Portfolio Analytics Workshop) 心得報告」, 中央銀行公務出國報告, 8 月。
4. 蕭洙欣 (2024), 「參加法國央行舉辦之『永續金融』研討會出國報告」, 中央銀行公務出國報告, 6 月。
5. 中央銀行 (2022), 「中央銀行因應氣候變遷策略方案」, 12 月。
6. 中央銀行 (2023), 「國際間央行因應氣候變遷之趨勢及本行政策措施」, 金融穩定報告, 5 月。
7. 中央銀行 (2024), 「國際間評估金融業氣候變遷風險之主要做法」, 金融穩定報告, 5 月。
8. 蔡釗旻 (2017), 「臺灣殖利率曲線之建構分析與利率傳遞機制之驗證—兼論臺美利率關聯性」, 中央銀行季刊, 12 月。
9. 證券櫃檯買賣中心, 公債零息殖利率曲線技術手冊。
10. ECB (2018), “Yield curve modelling and a conceptual framework for estimating yield curves: evidence from the European Central Bank’s yield curves,” ECB Statistics Paper Series, No.27, February.
11. NGFS (2024), “Considering climate-related risks and transition impact in the sovereign investments of central banks-Data, metrics and implementation issues,” May.
12. NGFS (2024), “Sustainable and responsible investment in central banks’ portfolio management-Practices and recommendations,” May.
13. Reserve Bank of Australia, “Bonds and the Yield Curve,” Retrieved from <https://www.rba.gov.au/education/resources/explainers/bonds-and-the-yield-curve.html>