

## 出國報告（出國類別：實習）

# 參加瑞士中央銀行基金會 2025 年舉辦之「實證 金融課題(Topics in Empirical Finance)」研習課 程報告

服務機關：中央銀行

姓名職稱：方惠蓉/經研處二等專員

派赴國家：瑞士

出國期間：114 年 2 月 1 日至 2 月 16 日

報告日期：114 年 5 月 9 日

# 目錄

壹、前言.....	1
貳、衍生性金融商品與風險中立機率密度(RND)分析.....	2
一、遠期與期貨市場.....	2
二、利率交換.....	2
三、隔夜指數交換利率(Overnight Index Swap, OIS).....	4
四、風險中立機率密度(Risk-Neutral Density Estimation, RND)及應用.....	4
參、極端事件與市場風險管理.....	9
一、極值理論(Extreme Value Theory, EVT).....	9
二、辨識厚尾分布-QQ-Plot (Quantile-Quantile Plot, 分位數-分位數圖).....	11
三、衡量系統風險.....	13
肆、市場微結構(Market Microstructure).....	22
一、市場摩擦導致資產的市場價格偏離公允價值.....	22
二、衡量市場流動性的指標.....	23
三、由 2020 年 3 月市場流動性危機看市場微結構的政策意涵.....	24
伍、網絡分析在實證金融中的應用.....	25
一、金融網絡與系統性風險.....	25
二、企業網絡模型(Firm Network Model).....	27
陸、結論與建議.....	31
一、結論.....	31
二、建議.....	32
參考資料.....	34

## 壹、前言

職奉派於民國 114 年 2 月 3 日至 14 日參加瑞士中央銀行基金會在瑞士伯恩舉辦之「實證金融課題(Topics in Empirical Finance)」研習課程，為期 2 週。本次課程講師包含瑞士洛桑大學(University of Lausanne)教授 Michael Rockinger 及 Norman Schürhoff、荷蘭鹿特丹大學(Erasmus University Rotterdam)教授 Casper De Vries、法國巴黎高等商業研究學院(HEC Paris)教授 Thierry Foucault 等，參與課程者包括奧地利、亞塞拜然、巴西、加拿大、哥斯大黎加、克羅埃西亞、厄瓜多、喬治亞、德國、香港、印度、印尼、義大利、吉爾吉斯共和國、立陶宛、摩爾多瓦、蒙古、秘魯、菲律賓、波蘭、羅馬尼亞、沙烏地阿拉伯、南韓、瑞士、英國、塔吉克、烏茲別克及我國等 28 位央行人員。

本次研習課程旨在深入探討金融市場的實證分析方法，涵蓋金融衍生商品、風險管理、市場微結構及金融穩定等議題，介紹金融商品評價原理，以風險中立機率密度建立金融危機預警指標，並以極值理論分析市場中的極端情況，例如股市崩盤、貨幣危機和信用違約事件；此外，介紹指標有效衡量系統性風險，並教導市場微結構理論，了解影響市場價格與流動性的因素，有助提供本行日後研析金融穩定與執行貨幣政策之參考。

本篇報告共分為 6 章，除前言外，第貳章說明衍生性金融商品與風險中立機率密度分析；第參章探討極端事件與市場風險管理；第肆章介紹市場微結構理論；第伍章說明網絡分析在實證金融中的應用；最後，第陸章為結論與建議。

## 貳、衍生性金融商品與風險中立機率密度(RND)分析

基本的衍生性金融商品包含遠期(Forward)、期貨(Future)、選擇權(Option)等，其價值係由利率、匯率、股權、指數、商品、信用事件等所衍生之交易契約，課程介紹遠期與期貨市場、利率交換、隔夜指數交換利率等，並探討選擇權定價模型，並可透過選擇權定價模型，利用市場數據估算隱含的風險中立機率密度(Risk-Neutral Density Estimation, RND)，評估市場對未來價格變動的預期，可用於政策決策。

### 一、遠期與期貨市場

遠期合約(Forward Contract)是雙方約定在未來某一特定時間，以預先約定的價格交割標的資產的非標準化合約；這類合約通常在店頭市場(Over-the-Counter, OTC)交易，不在集中市場上以競價方式買賣，適合企業或政府用來對沖匯率、利率及大宗商品價格的風險，例如，出口商可透過遠期外匯交易<sup>1</sup>(FX Forward)鎖定未來收款的匯率，規避未來匯率波動的風險，廠商透過遠期利率協定<sup>2</sup>(Forward Rate Agreement, FRA)鎖定未來的借款利率。

期貨合約(Futures Contract)則是在交易所買賣的標準化合約，透過每日結算(Mark-to-Market)及保證金機制以降低違約風險。例如，原油期貨市場為能源公司提供避險工具，使其能夠鎖定未來購買或出售原油的價格，從而降低市場價格變動帶來的影響。

### 二、利率交換

一個標準的固定利率對浮動利率的利率交換(Fixed-for-Floating Interest Rate Swap)是指雙方約定在未來一段時間( $T_m$ )內，按照約定名

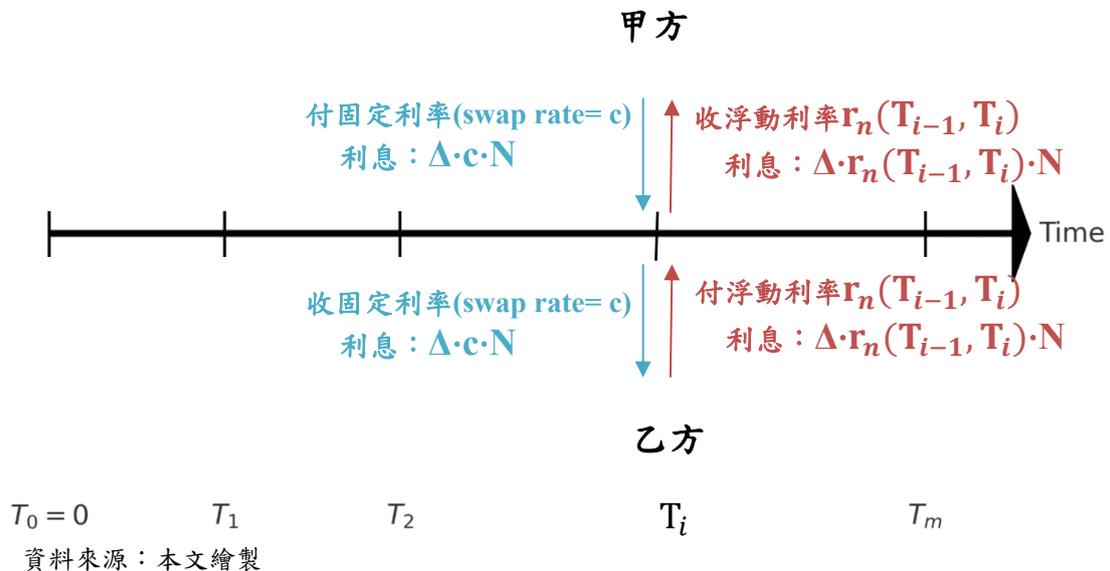
---

<sup>1</sup> 遠期外匯交易係指客戶約定在交易日後兩個營業日以上的某一特定日期或期間，按事先約定的匯率，以一種貨幣買賣另一種特定金額貨幣之外匯交易。

<sup>2</sup> 遠期利率協定係指雙方約定未來某一特定期間的利率，到期時交易雙方不需交割本金，只需依據雙方事先約定之市場指標利率和訂約利率之差額，乘以訂約名目本金，以清算利息差額。

目本金(N)及約定時間( $T_i, i = 1, 2, \dots, i \dots m$ ，其中  $\Delta = T_i - T_{i-1}$ )交換固定利率(交換利率  $c$ )與浮動利率( $r_n(T_{i-1}, T_i)$ )的利息現金流(圖 1)。

圖 1、利率交換示意圖



將交換合約的各期利息淨現金流的現值折現，並使交換合約折現後的初始價值為零，即可求得交換利率，說明如下：

$T_i$ 期的利息淨現金流為  $\Delta \cdot r_n(T_{i-1}, T_i) \cdot N - \Delta \cdot c \cdot N$ ，令  $Z(0, T_i)$  為零息債券價格(折現因子)，代表從  $T_i$  折現到現在的現值，則  $T_i$  期的利息淨現金流折現值如下：

$$N \cdot [Z(0, T_{i-1}) - Z(0, T_i)] - \Delta \cdot c \cdot N \cdot Z(0, T_i)$$

將  $T_1, T_2 \dots T_i \dots T_m$  各期的利息淨現金流折現值加總即為交換合約折現後的初始價值，並且等於零，如下所示：

$$V_0 = \sum_{i=1}^m N \cdot [Z(0, T_{i-1}) - Z(0, T_i)] - \sum_{i=1}^m \Delta \cdot c \cdot N \cdot Z(0, T_i) = 0$$

得到交換利率 (swap rate)  $c$  如下所示：

$$c = \frac{1 - Z(0, T_m)}{\Delta \cdot \sum_{i=1}^m Z(0, T_i)}$$

### 三、隔夜指數交換利率(Overnight Index Swap, OIS)

隔夜指數交換利率(Overnight Index Swap, OIS)是利率交換合約，將隔夜利率(如歐元短期利率(Euro Short Term Rate, €STR)、有效聯邦資金利率(Fed Fund Effective Rate, EFRR)、擔保隔夜融資利率(Secured Overnight Financing Rate, SOFR)等)交換成為若干固定利率(OIS 利率)，可做為無風險利率(RFR)的參考。如果交換期限少於一年，則在到期時一次支付，如果交換期限較長(最高可達 10 年)，通常每年或每季支付一次。

OIS 常見的到期期限(Maturities)為 1 個月(1M)、2 個月(2M)、12 個月(1Y)、2 年(2Y)、5 年(5Y)、10 年(10Y)、最長可至 30 年(30Y)。以拔靴法(bootstrapping)建構 OIS 曲線，公式如下：

$$c(T_m) = \frac{1 - Z(0, T_m)}{\sum_{i=1}^m \Delta(T_{i-1}, T_i) Z(0, T_i)}$$

其中， $\Delta(T_{i-1}, T_i)$ 係依據日數計算年化比例；

$Z(0, T_i)$ 為零息債券價格，代表從 $T_i$ 折現到現在的現值。

從各期 OIS 利率中，帶入公式亦可逐步推出零息債券折現因子 $Z(0, T_i)$ ，作為計算衍生性金融商品時使用的折現基準利率。OIS 利率可以當作市場預期中央銀行目標利率的指標，由於隔夜無風險利率是央行貨幣政策利率的直接反映，市場參與者在定價 OIS 利率時，會將未來一段期間內央行基準利率可能調整的預期反映進去，故 OIS 利率可看作是市場對未來平均政策利率的預測。

### 四、風險中立機率密度(Risk-Neutral Density Estimation, RND)及應用

#### (一)風險中立機率密度(RND)

在無套利條件下，選擇權價格與 RND(即未來資產價格的風險中

立機率密度 $f^Q(S_T)$ 之間的關係如下：

1. 選擇權價格等於其未來支付的期望值，並以無風險利率(Risk-Free Rate)進行折現：

$$C(K, T) = e^{-rT} E^Q[\max(S_T - K, 0)]$$

$C(K, T)$ ：看漲選擇權 (Call Option) 價格

$S_T$ ：到期時的標的資產價格

$K$ ：執行價格(Strike Price)

$T$ ：到期時間

$r$ ：無風險利率

$E^Q[\cdot]$ ：風險中性測度  $Q$  下的期望值

2. 期望值可以透過風險中性密度  $f^Q(S_T)$  表示：

$$C(K, T) = e^{-rT} \int_K^{\infty} (S_T - K) f^Q(S_T) dS_T$$

3. Breeden 和 Litzenberger(1978)發現，看漲選擇權(Call Option)價格的二階導數與風險中性密度之間存在直接關係：

$$f^Q(S_T) = e^{rT} \frac{\partial^2 C(K, T)}{\partial K^2}$$

其中，歐式看漲選擇權(Call Option)之 Black-Scholes 公式：

$$C(S_0, K, r, T, \sigma) = S_0 \Phi(d_1) - Ke^{-rT} \Phi(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r + 0.5\sigma^2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

$S_0$ ：標的資產現價

$K$ ：執行價格

$r$ ：無風險利率

$T$ ：到期時間

$\sigma$ ：標的資產波動率

$\Phi(d)$ ：標準常態分布的累積機率函數(CDF)

## (二)風險中性密度(RND)應用

中央銀行常使用三種通膨預測方式，包括模型預測<sup>3</sup>、調查預測(如專家調查)，以及抗通膨債券<sup>4</sup>(Treasury Inflation-Protected Securities, TIPS)與名目債券之利差的市場基礎預測，這些方法多著重於「預期平均通膨率」，但未充分揭示「通膨風險」，即通膨偏離目標的機率，如未來五年平均通膨率超過 2%的機率。而透過選擇權市場數據估算隱含的 RND，是屬於基於市場基礎預測模型，能補足傳統預測的不足，為政策制定者提供全面的通膨前景資訊，特別是在經濟或政治事件導致不確定性升高時，這些資訊可提升決策品質與市場應對能力。

### 1. Minneapolis Fed 使用 RND 評估通貨膨脹風險

Minneapolis Fed 提出使用 RND 輔助政策制定，例如可根據 RND 評估未來通膨風險及金融市場波動風險(如利率變動、股市暴跌等)的發生機率，作為政策制定的參考。可從金融市場的通膨上限<sup>5</sup>(cap)與下限<sup>6</sup>(floor)選擇權的價格，推算未來通膨高於或低於某特定水準的機率，進一步應用於政策決策。

Minneapolis Fed 利用 RND 評估 2021 年 1 月 5 日喬治亞州參議院競選對美國通膨風險的影響。許多經濟學家和政治專家都預測，隨

---

<sup>3</sup> 如新凱因斯動態隨機一般均衡模型(DSGE Models)、向量自我回歸模型(VAR Models)、Phillips Curve 模型等。

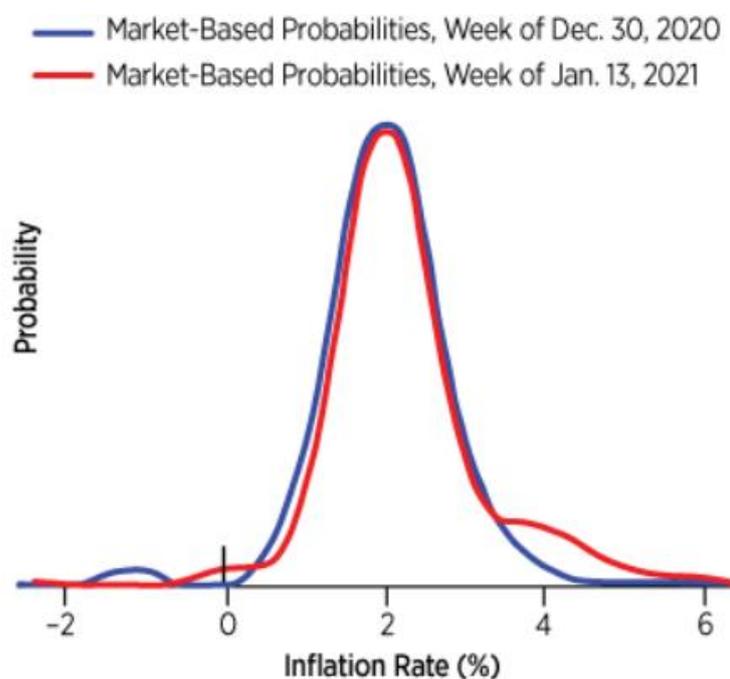
<sup>4</sup> TIPS 是美國財政部於 1997 年開始發行的一種國債，屬於國庫債券，通常為期十年，每半年付息一次，其本金及票息均依據消費者物價指數(CPI)進行調整。抗通膨債券票息發行時與一般標準國債相同採固定形式，但其本金每年需根據通膨率進行二次調整，若通膨率上升，投資者可獲得的收益亦跟著上漲。

<sup>5</sup> 買方支付保費，一旦實際通膨高於履約通膨率(strike rate)，賣方需支付差額，類似買入看漲選擇權(call option on inflation)，用於對抗高通膨風險。例如投資人購買一份 5 年期通膨上限(cap)，履約通膨率(strike rate)為平均消費者物價指數(CPI)年增率=3%，若未來 5 年平均 CPI 年增率為 4%，投資人會收到補償(4%-3%=1%)，按名目本金計算，若 CPI 僅為 2%，則不會收到補償，僅損失初期保費。

<sup>6</sup> 買方支付保費，一旦實際通膨低於履約通膨率(strike rate)，賣方需賠付，類似買入看跌選擇權(put option on inflation)，用於對抗通縮或低通膨風險。

著兩位民主黨候選人在喬治亞州參議院決選中獲勝，從而導致民主黨控制參議院，將使得通膨上升的風險顯著增加。Minneapolis Fed 利用通膨上限(cap)與下限(floor)選擇權的價格，分別於選前(2020 年 12 月 30 日)及選後(2021 年 1 月 13 日)推算市場預期未來 5 年平均 CPI 年增率的機率密度函數分布(圖 2)，選前與選後的兩個機率密度函數分布的中心幾乎相同，但右尾明顯不同。大於 3%通貨膨脹率的右側，藍色(選前)和紅色(選後)曲線下的面積分別為 15%和 21%，意味著市場預期在民主黨候選人在喬治亞州獲勝後，未來 5 年平均 CPI 年增率超過 3%的可能性高出 6 個百分點。

圖 2、未來 5 年平均 CPI 年增率的機率密度函數分布  
選前 vs. 選後



資料來源：Michael W. McCracken and Aaron Amburgey (2021)

傳統的通貨膨脹預測無法提供有關高通貨膨脹或低通貨膨脹風險的任何資訊，但透過通膨選擇權推算平均 CPI 年增率的機率密度函數分布，則有助於深入瞭解市場對未來通貨膨脹的看法，可以使政策制定者有能力做出最佳的決策。

## 2. 使用瑞郎/歐元選擇權價格推估市場對瑞士央行維持 1 歐元兌 1.20 瑞郎最低匯率政策的信心機率變化

Urban J. Jermann(2017)<sup>7</sup>使用瑞郎/歐元選擇權價格來估計 RND，發現 2011 年 9 月至 2015 年 1 月，瑞士中央銀行(SNB)維持 1 歐元兌 1.20 瑞郎的最低匯率政策<sup>8</sup>，市場對政策的信心隨時間變動：

- 2011 年底，市場認為 3 個月內維持最低匯率政策信心的機率低於 75%(圖 3)，顯示市場不完全信任 SNB 能夠維持底線。
- 2012 年 Q2~Q3 SNB 的外匯儲備大幅增加，顯示維持政策的干預規模擴大，市場信心逐步上升，至 2014 年 8 月市場信心達到 95%，顯示該政策獲得市場高的信任。
- 2014 年 9 月以後，市場信心下降至 70~80%，反映市場對政策終止的擔憂加劇。

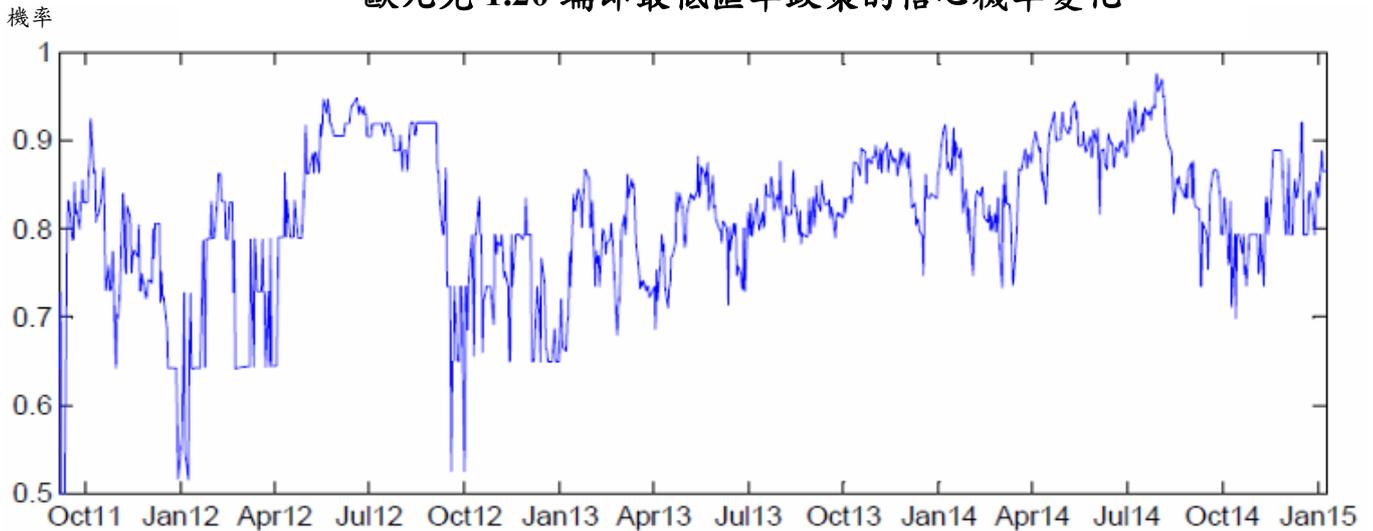
該研究顯示 RND 可用於研究政策變化對市場的影響，幫助政策決策者理解市場行為。

---

<sup>7</sup> 參見 Urban J. Jermann (2017)。

<sup>8</sup> 設定 1 歐元兌 1.20 瑞郎的最低匯率政策，並表示願意無限量購買外匯來維持該匯率水準。

圖 3、使用瑞郎/歐元選擇權價格推估市場對瑞士央行維持 1 歐元兌 1.20 瑞郎最低匯率政策的信心機率變化



資料來源：Urban J. Jermann (2017)

### 參、極端事件與市場風險管理

大多數統計方法假設資產報酬率是常態分布 (Normal Distribution)，惟金融市場的資產報酬率具有厚尾分布 (Fat Tails)，即極端事件的發生機率遠高於常態分布。1929 年大蕭條、1987 年黑色星期 1997 年亞洲金融危機、2008 年金融危機、2015 年瑞郎暴漲等，這些市場極端變動並非罕見，而是金融市場的特性之一。基於此，課程教導極值理論、辨識厚尾分布，以及如何衡量系統風險。

#### 一、極值理論 (Extreme Value Theory, EVT)

極值理論用於分析市場中的極端情況，例如股市崩盤、貨幣危機和信用違約事件。假設  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  是 i.i.d. (Independent and identically distributed) 的隨機變數，其最大值記作：

$$M_n = \max(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

根據極值理論，當  $n \rightarrow \infty$ ， $M_n$  經過線性標準化後會收斂於某個極值分布  $G(x)$ ， $G(x)$  為下列三種分布之一 (圖 4)：

(一)Gumbel 分布(Gumbel Distribution)：輕尾分布(Light Tails)，如壽命數據、氣溫變化等。

$$G(x) = \exp(-e^{-x})$$

Gumbel 分布機率密度函數：

$$f(x) = e^{-x} \cdot \exp(-e^{-x})$$

(二)Fréchet 分布(Fréchet Distribution)：重尾分布(Heavy Tails)，如股票市場、匯率、商品價格。

$$G(x) = \exp(-x^{-\theta}), x > 0, \theta > 0$$

Fréchet 分布機率密度函數：

$$f(x) = \theta x^{-\theta-1} \cdot \exp(-x^{-\theta})$$

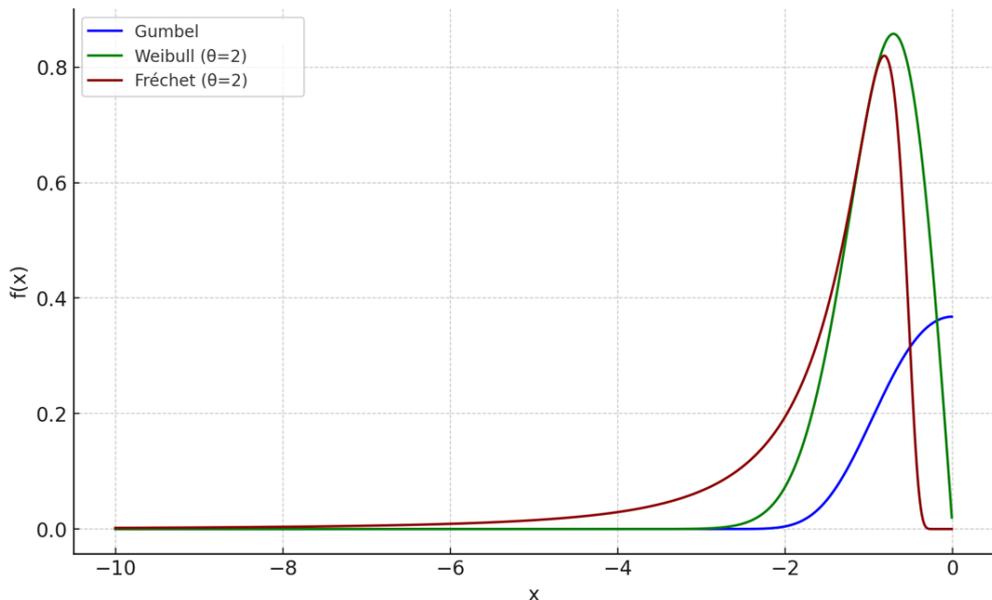
(三)Weibull 分布(Weibull Distribution)：分布有上限，常應用如物理應力、工程壽命。

$$G(x) = \exp(-(-x)^{\theta}), x \leq 0, \theta > 0$$

Weibull 分布機率密度函數：

$$f(x) = \theta(-x)^{\theta-1} \cdot \exp(-(-x)^{\theta})$$

圖 4、比較 Gumbel、Weibull 及 Fréchet 機率密度函數(x<0)



資料來源：本文繪製

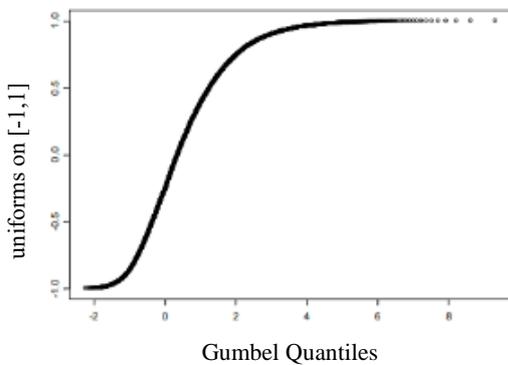
## 二、辨識厚尾分布-QQ-Plot (Quantile-Quantile Plot, 分位數-分位數圖)

在極值理論中，QQ-plot 是一種視覺化工具，通過比較樣本數據分位數  $X_{(i)}$ (Y 軸)與理論分布分位數  $F^{-1}(i/n)$ (X 軸)的散點圖，即將樣本中  $n$  筆觀察值由小到大排序，得到  $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}$ ，與每個  $i = 1, 2, \dots, n$  計算對應理論分布的第  $i$  個分位數  $F^{-1}(i/n)$  相配對，畫出的散點圖就是 QQ-plot。

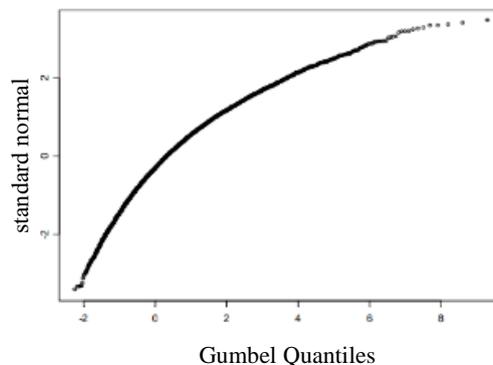
QQ-Plot 可用以區分數據分布是否趨向於 Weibull 分布(QQ-Plot 呈現 S 形，見圖 5)、重尾 Fréchet 分布(QQ-Plot 上尾明顯彎曲向上，而下尾彎曲向下，見圖 5)、輕尾 Gumbel 分布(QQ-Plot 尾部幾乎沒有彎曲，見圖 5)。

圖 5、以 QQ-Plot 辨識厚尾分布

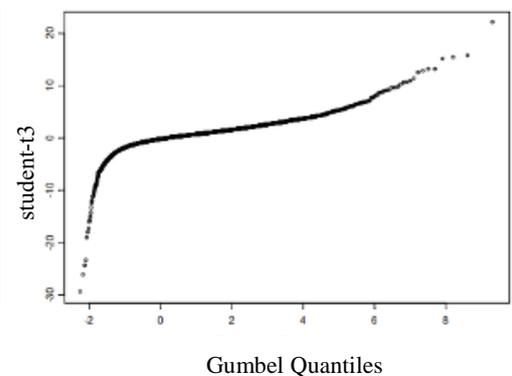
Weibull 分布



輕尾 Gumbel 分布



重尾 Fréchet 分布

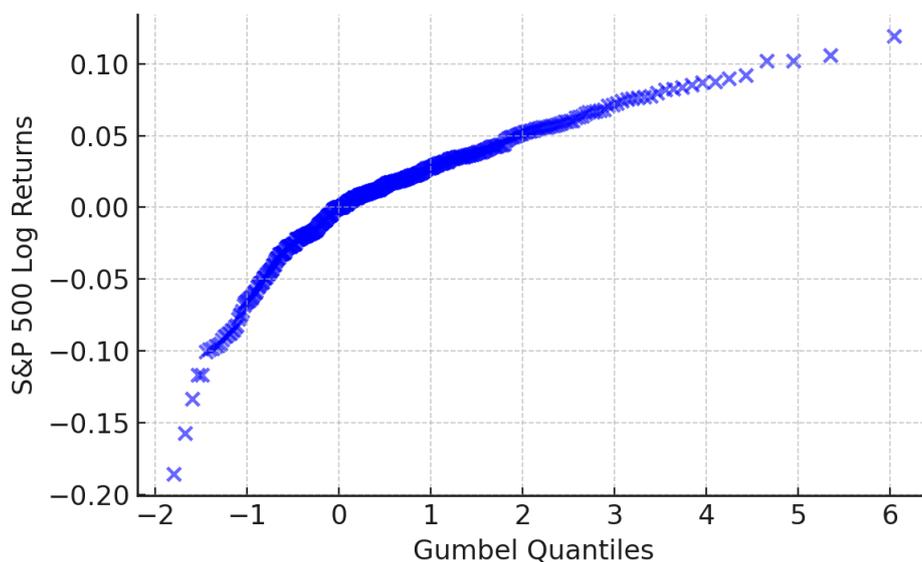


資料來源：課程講義

以 1990 年至 2025 年 4 月的 S&P500 指數月報酬率，以及 2003 年 4 月至 2025 年 4 月台灣加權股價指數月報酬率為例，分別繪製樣本數據分位數與理論分布分位數的 QQ-Plot(圖 6 及圖 7)，發現 S&P500 指數月報酬率的 QQ-Plot 中段數據點大致沿直線分布，但尾部有向上翹起的趨勢，顯示 S&P500 指數月報酬率的尾部行為較接近厚尾的 Fréchet 分布。而台灣加權股價指數月報酬率的 QQ-Plot 亦呈現尾部明顯上翹，甚

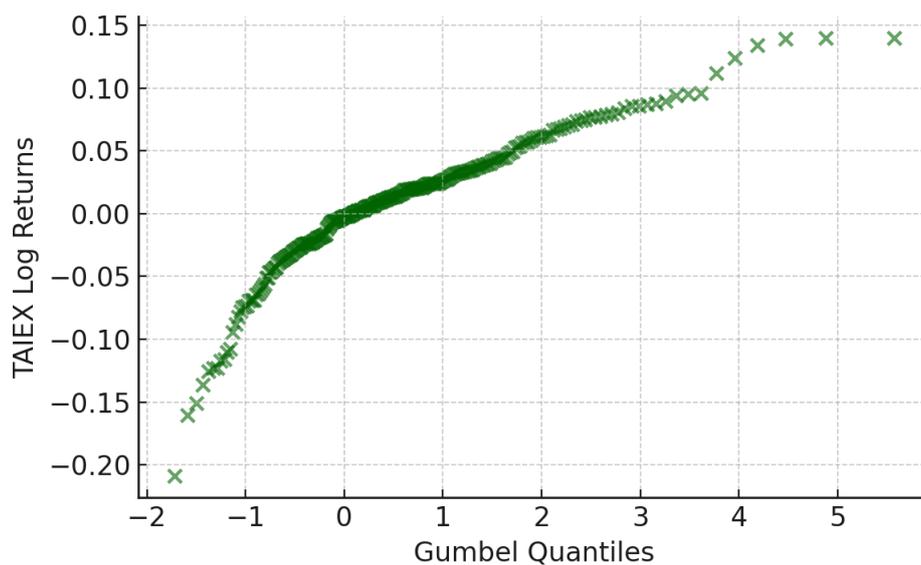
至比 S&P500 指數月報酬率更加明顯，故其尾部行為亦較接近厚尾的 Fréchet 分布。

圖 6、S&P 500 指數月報酬率與 Gumbel 分布的 QQ-plot



資料來源：本文繪製

圖 7、台灣加權股價指數月報酬率與 Gumbel 分布的 QQ-plot



資料來源：本文繪製

### 三、衡量系統風險

金融監管過去以個體審慎(Micro-prudential)為主，關注個別金融機構的風險，巴塞爾協議 II(Basel II)主要關注 VaR(Value-at-Risk)，即個別機構的市場風險管理<sup>9</sup>；惟 2008 年金融危機顯示，僅關注個別風險是不夠的，因為系統性風險來自於金融機構之間的相互關聯，故監管應衡量系統性風險(Systemic Risk)，並識別「大到不能倒」和「關聯度過高不能倒」的機構。

#### (一)條件風險值(Conditional Value-at-Risk, CoVaR)

VaR 衡量單一金融機構或投資組合在持有期間內且在給定的信賴區間內的最大可能損失。對於隨機變數  $X$ (通常是投資報酬率)，VaR 在機率水準  $p$  下的定義是：

$$\text{VaR}_p = t \text{ 使得 } P(X \leq -t) = p$$

或以累積機率密度函數  $F(x)$  表示：

$$\int_{-\infty}^{-t} f(x) dx = F(-t) = p$$

其中：

$t > 0$  表示損失為正值；

$p$  為損失發生的機率(例如 1% 或 5%)；

$f(x)$  為  $X$  的機率密度函數。

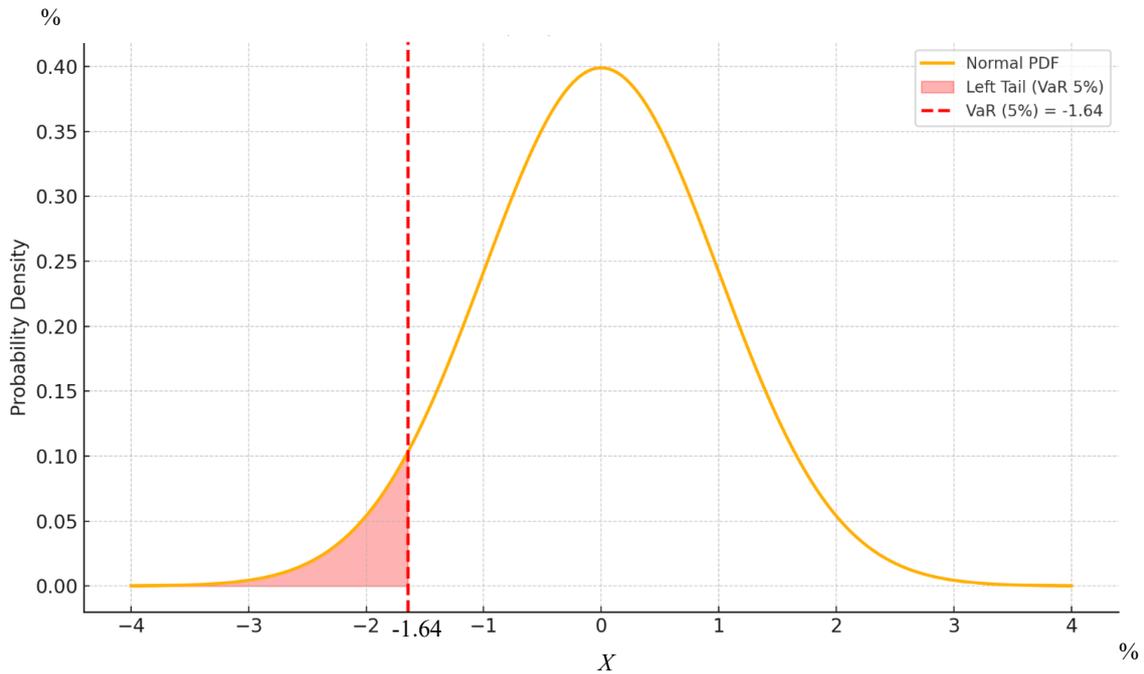
直觀的說，VaR 是在最壞的  $p$  情況下的最大損失，例如，若  $\text{VaR}_{0.05} = -1.64\%$ ，表示有 5% 的機率，投資損失會大於 1.64%(圖 8)。

---

<sup>9</sup> Basel III 已將風險值 (VaR) 指標替換為預期損失(Expected Shortfall, ES) 指標，因為 ES 能同時捕捉損失的幅度與發生機率。ES 是在損失超過某特定 VaR 門檻值的情況下，平均會損失多少。ES 的公式：若隨機變數  $X$  表示投資報酬率， $\text{VaR}_p$  是機率為  $p$  下的風險值，則

$$\text{ES}_p = E[-X | X \leq -\text{VaR}_p]$$

圖 8、常態分配下的 VaR<sub>0.05</sub>



資料來源：本文繪製

條件風險值(Conditional Value-at-Risk, CoVaR)則是一種衡量系統性風險的方法，特別用於評估單一金融機構的財務困境對整個金融體系的影響。

$$\text{CoVaR}_q^{\text{system}i} = \text{VaR}_q^{\text{system}i | X_i \text{ in distress}}$$

其中：

$\text{CoVaR}_q^{\text{system}i}$  表示金融體系在機構  $i$  處於財務困境時的風險值。

$X_i \text{ in distress}$  表示機構  $i$  的資產價值達到其 VaR 水準(即處於財務困境)。

$q$  是信賴區間的顯著水準(level of significance)(通常為 1%或 5%)。

$\Delta\text{CoVaR}$  為 CoVaR 變化量，可以衡量某個金融機構對整個系統風險的貢獻程度， $\Delta\text{CoVaR}$  公式如下：

$$\Delta\text{CoVaR}_q^{\text{system}|i} = \text{CoVaR}_q^{\text{system}|i} - \text{CoVaR}_q^{\text{system}|\text{median}(i)} \quad \text{其中，}$$

$\Delta\text{CoVaR}_q^{\text{system}|i}$ ：衡量當機構  $i$  從正常狀態變為處於財務困境時，金融體系風險的變化。

$\text{CoVaR}_q^{\text{system}|i}$ ：表示金融體系在機構  $i$  處於財務困境時的風險值。

$\text{CoVaR}_q^{\text{system}|\text{median}(i)}$ ：表示金融體系在機構  $i$  處於正常狀態(即其資產價值處於中位數時)的風險值。

如果  $\Delta\text{CoVaR}$  越大，代表該機構的財務困境對整個系統的影響越嚴重，幫助監管機構識別「太大而不能倒」的機構。

$\Delta\text{CoVaR}$  可透過分位數回歸(Quantile Regression)進行估計，以下分別就分位數回歸的數學模型設定及實作步驟做說明。

## 1. $\Delta\text{CoVaR}$ 分位數回歸的數學模型設定

### (1) 分位數回歸模型設定

整個金融體系價值變動率  $Y^{\text{system}}$  相對於個別機構價值變動率  $X^i$  的  $q$  分位數回歸模型設定如下：

$$\text{Quantile}^q(Y_t^{\text{system}} | X_t^i) = \alpha_q + \beta_q X_t^i + \varepsilon_t$$

$\alpha_q$ 、 $\beta_q$ ：是針對第  $q$  分位的回歸係數。

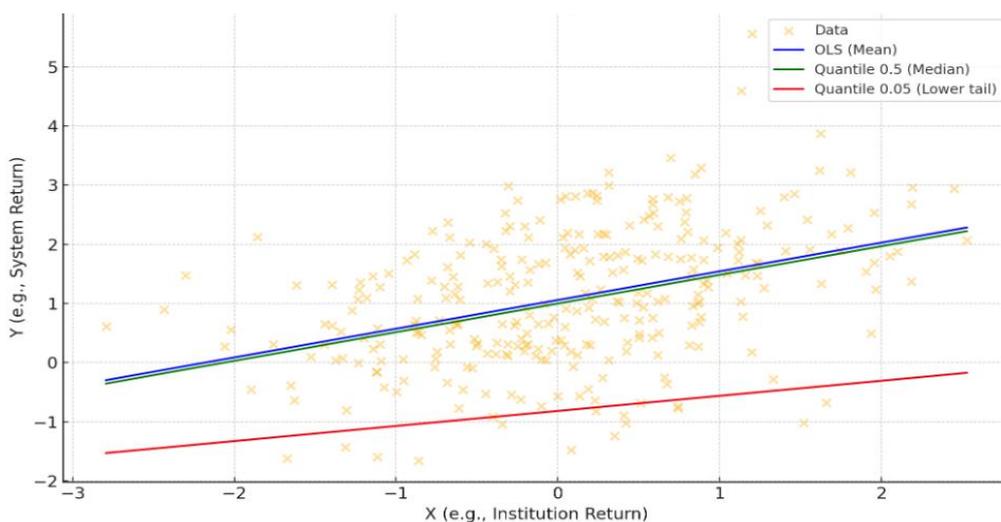
$X_t^i$ ：是金融機構  $i$  的價值變動率。

$Y_t^{\text{system}}$ ：是整個金融體系的價值變動率。

分位數回歸模型與普通最小平方模型(Ordinary Least Squares, OLS)的差異說明，如圖 9 所示，藍色線是 OLS 模型回歸線，透過對所有樣本點平均誤差最小來估計參數值；綠色線是

中位數(Quantile 0.5)回歸線，讓約 50%的樣本點在回歸線的上方，50% 的樣本點在回歸線的下方；紅色線是第 5%分位數(Quantile 0.05)回歸線，讓約 95%的樣本點在回歸線的上方，5%的樣本點在回歸線的下方。

圖 9、分位數回歸模型與普通最小平方模型(OLS)的差異



資料來源：本文繪製

## (2) CoVaR 估計式

金融體系在機構  $i$  處於財務困境時的風險值的估計式：

$$\text{CoVaR}_q^{\text{system}|i} = \text{Quantile}_q(Y_t^{\text{system}} | X_t^i = \text{VaR}_q^i) = \alpha_q + \beta_q \text{VaR}_q^i$$

金融體系在機構  $i$  處於正常狀態的風險值的估計式：

$$\text{CoVaR}_q^{\text{system}|\text{median}(i)} = \text{Quantile}_q(Y_t^{\text{system}} | X_t^i = \text{VaR}_{0.5}^i) = \alpha_q + \beta_q \text{VaR}_{0.5}^i$$

## (3) $\Delta\text{CoVaR}$ 的估計式

當機構  $i$  從正常狀態變為處於財務困境時，金融體系風險的變化的估計式：

$$\Delta\text{CoVaR}_q^{\text{system}|i} = \text{CoVaR}_q^{\text{system}|i} - \text{CoVaR}_q^{\text{system}|\text{median}(i)}$$

$$= \beta_q(\text{VaR}_q^i - \text{VaR}_{0.5}^i)$$

## 2. $\Delta\text{CoVaR}$ 分位數回歸的實作步驟

### (1) 計算金融體系的 $Y_t^{\text{system}}$ 及每家機構的 $X_t^i$

$$Y_t^{\text{system}} = \text{MVA}_t^{\text{system}} = \sum_i \text{MVA}_t^i$$

$$X_t^i = \frac{(\text{MVA}_t^i - \text{MVA}_{t-1}^i)}{\text{MVA}_{t-1}^i}$$

其中，資產的市場價值(MVA) =  $\frac{\text{帳面資產價值(BVA)} \times \text{股權的市場價值(MVE)}}{\text{股東權益(BVE)}}$

股權的市場價值(MVE) = 股價(P) × 流通在外股數(N)

### (2) 分位數回歸參數估計

對金融體系的  $Y_t^{\text{system}}$  進行  $q$  分位數回歸：

$\text{Quantile}^q(Y_t^{\text{system}} | X_t^i) = \alpha_q^i + \beta_q^i X_t^i + \varepsilon_t$ ，使用 STATA 指令 qreg 估計得到參數值。

### (3) 估計每家機構的 $\text{VaR}_q^i$ 及 $\text{VaR}_{0.5}^i$

例如從歷史模擬分布(或其他方法)中取第 5 百分位和第 50 百分位(中位數)的  $X^i$ 。

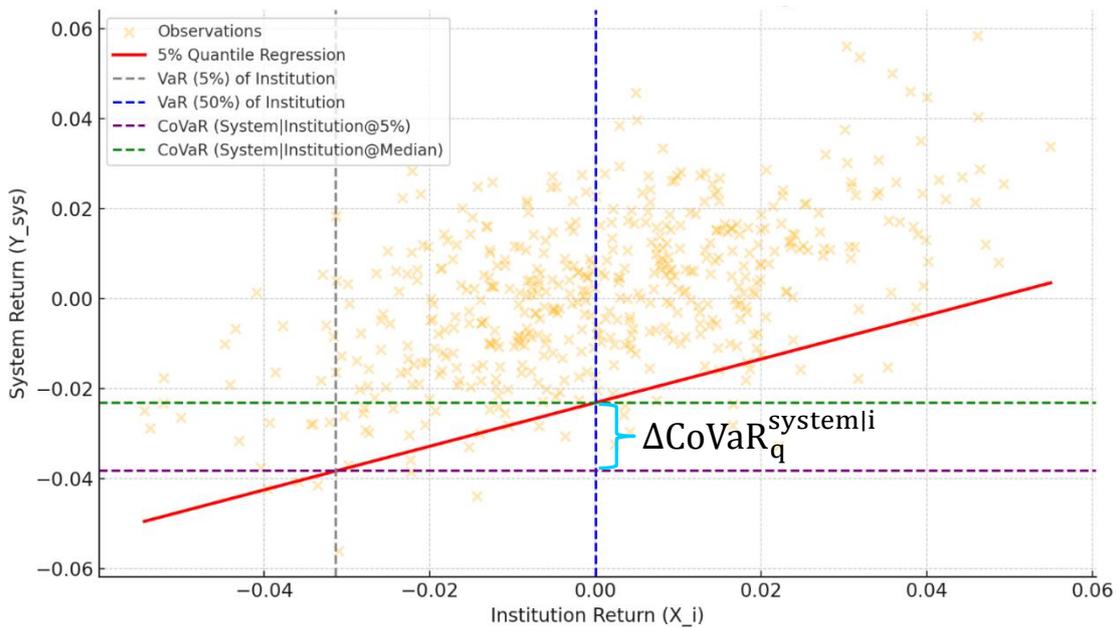
### (4) 估計 $\Delta\text{CoVaR}$

利用前面得到的數值帶入  $\Delta\text{CoVaR}_q^{\text{system}li} = \beta_q^i (\text{VaR}_q^i - \text{VaR}_{0.5}^i)$  計算，即可得到  $\Delta\text{CoVaR}_q^{\text{system}li}$ 。

以圖 10 為例說明，灰色虛線為機構  $i$  的資產市場價值變動率的 5% VaR，表示處於財務困境時；藍色虛線為機構  $i$  的資產市場價值變動率的 50% VaR(中位數)，代表處於正常狀態的風險值；紅色線為金融體系市場價值變動率的 5%分位數回歸線(有 5%的散狀

圖點落在紅線下方)，描述在機構  $i$  不同百分位的 VaR 狀態下，金融體系市場價值變動率的 5% VaR(尾部行為)；綠色虛線為金融體系市場價值變動率在機構  $i$  處於正常時的 5%VaR(即  $\text{CoVaR}_{0.05}^{\text{system}|\text{median}(i)}$ )，紫色虛線為系統在機構  $i$  處於財務壓力下的 5%VaR(即  $\text{CoVaR}_{0.05}^{\text{system}^i}$ )； $\Delta\text{CoVaR}_q^{\text{system}^i}$  即為紫色虛線與綠色虛線的差值。

圖 10、 $\Delta\text{CoVaR}_q^{\text{system}^i}$  示意圖



資料來源：本文繪製

## (二)綜合系統性壓力指數(Composite Indicator of Systemic Stress, CISS)

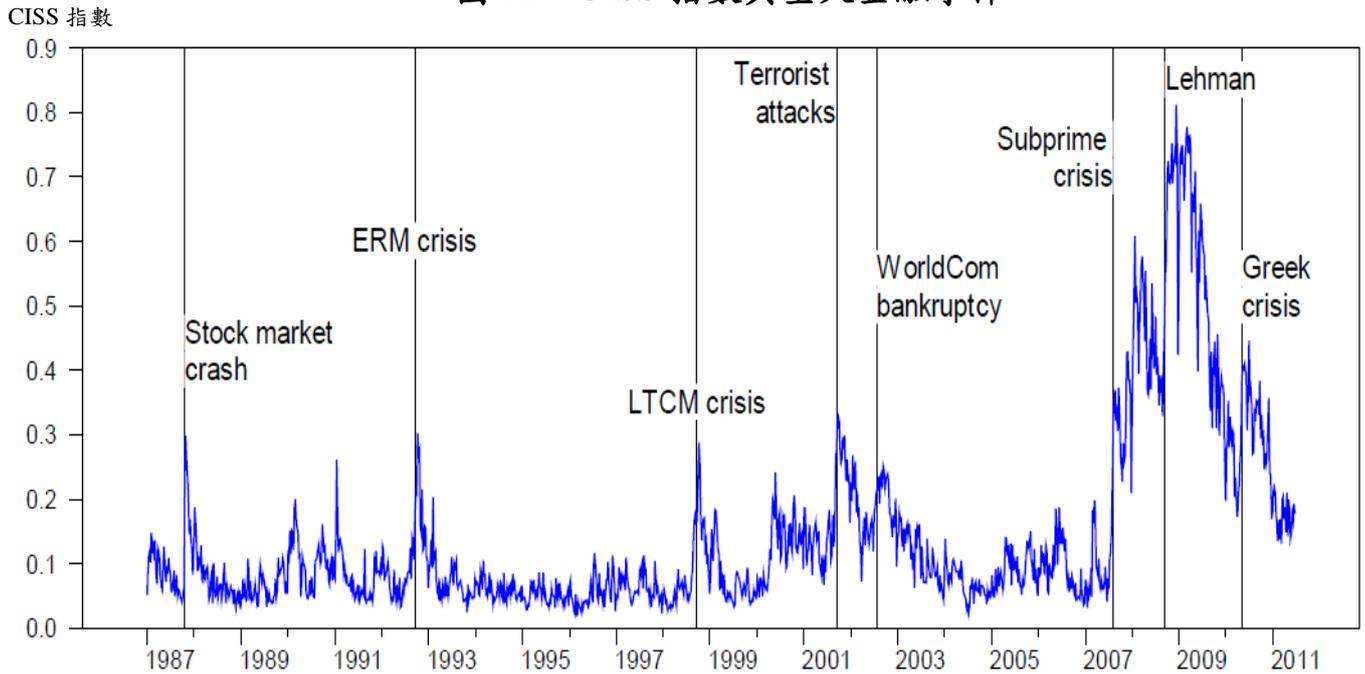
CISS 係由歐洲央行(ECB)開發，主要用來監測金融市場的不穩定性。該指數綜合 5 個金融市場(如貨幣市場、債券市場、股票市場、金融機構市場和外匯市場)的 15 個壓力指標(表 1)，作為系統性風險衡量指標。觀察重大金融事件發生時，CISS 指數將隨之走升，顯示其與重大金融事件是同步相關的(圖 11)。

表 1、CISS 綜合 5 個金融市場的 15 個壓力指標

市場類別	壓力指標	指標說明
1. 貨幣市場	1.3 個月 Euribor 波動率	衡量短期資金市場利率的波動性
	2.Euribor 與 T-bill 利差	衡量銀行間拆借市場與政府短期債務的利差，代表信貸風險
	3.央行貸款依賴度	衡量銀行對央行的流動性依賴程度
2. 債券市場	4.10 年期政府公債波動率	衡量政府債券市場的風險和投資人情緒
	5.A 級公司債與政府債券利差	衡量公司信用風險與政府債信風險之間的變化
	6. 10 年期利率交換利差	衡量長期利率的變動及市場風險溢價
3. 股票市場	7.股市波動率	衡量股市價格的變動程度
	8.最大累積損失	股市在一段時間內的最大跌幅
	9.股債相關性	衡量股票市場與債券市場的聯動關係
4. 金融機構市場	10.銀行業股票波動率	反映銀行股價變動的風險
	11.A 級金融機構與非金融機構利差	衡量金融機構的信用風險相對於非金融企業的風險溢價
	12.金融股價指數的最大累積損失與股價淨值比率	反映金融機構的市場壓力及投資者對銀行穩定的信心
5. 外匯市場	13.US/EUR 波動率	衡量 US/EUR 的匯率波動程度
	14.JPY/EUR 波動率	衡量 JPY/EUR 的匯率波動程度
	15.GBP/EUR 波動率	衡量 GBP/EUR 的匯率波動程度

資料來源：課程講義

圖 11、CISS 指數與重大金融事件



資料來源：課程講義

### (三) 邊際預期損失 (Marginal Expected Shortfall, MES)

MES 是衡量當整個金融市場發生系統性風險事件時，個別金融機構的預期損失。MES 反映一家金融機構在市場嚴重下跌時的損失程度，MES 越高表示該機構在市場危機時損失越大，是評估金融機構系統性風險暴露的關鍵指標。MES 數學模型設定說明如下：

令  $M$  為市場報酬率(例如大盤指數日報酬率)，是個股股價報酬率  $R_i$  的加權平均數：

$$M = \sum_i w_i R_i$$

其中， $w_i$  是  $i$  公司在指數中的權重(可能是市值加權等)。

兩邊取條件期望值，得到

$$E[M|M < q] = \sum_i w_i E[R_i|M < q] = ES_M^q$$

其中， $q$  是大盤指數顯著下跌的分位點(如 5%)，代表系統性事件發生，此項等式也就是大盤指數報酬率的預期損失<sup>10</sup>(Expected

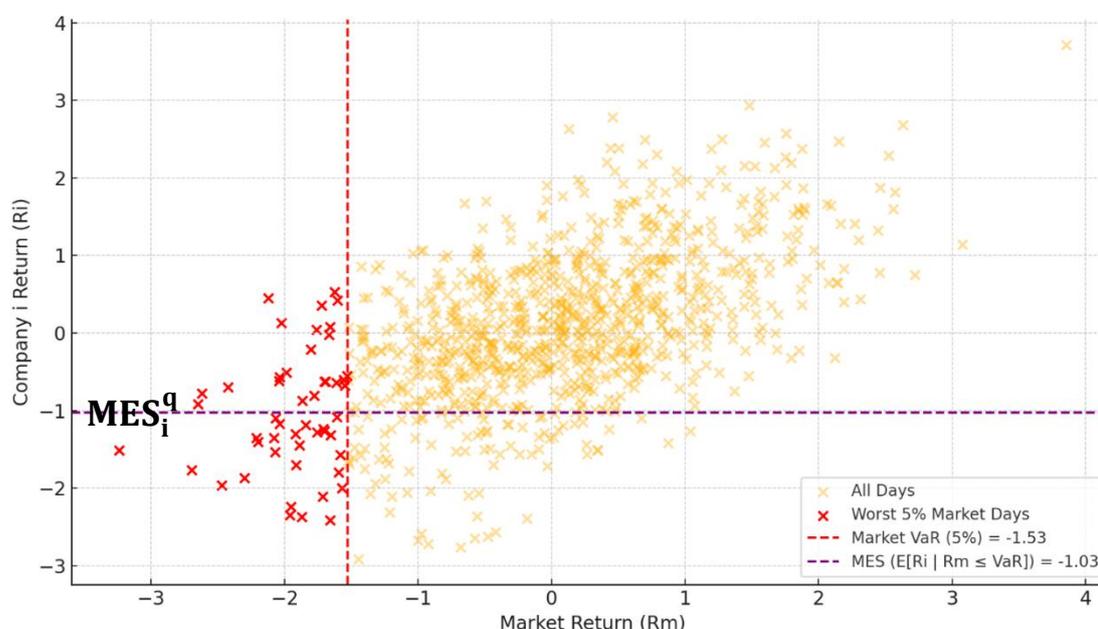
<sup>10</sup> 參見註 9。

Shortfall, ES)。MES 代表 i 公司對大盤指數預期損失的邊際貢獻，亦即對於 i 公司權重  $w_i$  微小變化時，大盤指數預期損失的變動，數學計算公式如下：

$$MES_i^q = \frac{\partial ES_M^q}{\partial w_i} = \frac{\partial E[M | M < q]}{\partial w_i} = E[R_i | M < q]$$

從上式亦可看出，i 公司的  $MES_i^q$  就是在大盤指數報酬率表現極差（低於第 q 分位）時，i 公司股價報酬率的平均數。圖 12 為 MES 示意圖，X 軸為市場大盤指數日報酬  $M$ ，Y 軸為 i 公司的股價日報酬率  $R_i$ ，紅點為大盤指數日報酬落在最差 5% 的時候（即壓力情境），紅色虛線為大盤指數日報酬的 5% VaR，紫色虛線為 i 公司在市場大盤指數日報酬最差時候，其股價日報酬率（紅點 Y 值）的平均數（即  $MES_i^q$ ）。 $MES_i^q$  越低（負值的絕對值越大），代表 i 公司在壓力測試下表現越差，對系統風險貢獻越大。

圖 12、 $MES_i^q$  示意圖



資料來源：本文繪製

MES 與資本資產定價模型(CAPM) $R_i = \beta_i M + \varepsilon_i$  ( $\varepsilon_i$  為與大盤指數報酬率無關的特有風險)的關係：

$$MES_i^q = E[R_i | M < q] = E[\beta_i M | M < q] = \beta_i ES_q^M$$

上式顯示  $MES_i^q$  就是  $i$  公司對大盤指數報酬率預期損失(ES)的「實際貢獻」。

## 肆、市場微結構(Market Microstructure)

### 一、市場摩擦導致資產的市場價格偏離公允價值

市場微結構提供理論架構與實證方法，用於分析不同市場(股票、固定收益、外匯、衍生性商品)中，交易數據的價格變動與交易行為。市場價格可以分解為公允價值與市場摩擦：

$$p_t = \mu_t + f_t$$

$\mu_t$ (公允價值)：資產的內在價值，由市場資訊決定。

$f_t$ (市場摩擦)：市場摩擦(如資訊不對稱、交易成本)導致價格偏離公允價值。

市場摩擦透過資訊不對稱(Asymmetric Information)、庫存持有成本(Inventory Holding Costs)，以及訂單處理成本(Order Processing Costs)等三個因素影響市場價格與流動性，說明如下：

#### (一) 資訊不對稱(Asymmetric Information)

市場參與者分成兩種類型，(1)知情交易者(Informed Traders)知道資產內在價值，若價格被低估，則買入；若被高估，則賣出；(2)無資訊交易者(Liquidity Traders)，由於流動性需求(如指數基金經理需要投資資金流入)隨機買賣(在任何價格水準下買入或賣出機率相等)。市場訂單流的買賣方向提供資產公允價值資訊。若交易商收到賣出訂單，表示市場可能高估資產內在價值，交易商會下調資產內在價值的預測，反之則會上調。交易商透過調整買賣價差(Bid-Ask Spread)，以

應對資訊風險，資訊不對稱越大，買賣價差越大，市場價格偏離公允價值。

### **(二)庫存持有成本(Inventory Holding Costs)**

交易商需持有庫存來應對買賣需求，但會產生價格變動風險。庫存高時，交易商願意降低價格賣出，避免價格下跌風險；庫存低時，交易商會提高買價，以確保有足夠庫存應對需求。交易商根據庫存狀況調整報價亦導致市場價格偏離公允價值。

### **(三)訂單處理成本(Order Processing Costs)**

交易商需支付系統維護、報價風險等成本，因此收取交易費用，這些成本增加了交易成本，導致市場價格偏離公允價值。

## **二、衡量市場流動性的指標**

國際清算銀行(BIS)定義高流動性市場係指能夠快速執行大額交易且對價格的影響小<sup>11</sup>。故資產的市場摩擦愈小(如資訊愈透明、交易成本愈小)，流動性愈大，反之則流動性愈小。衡量流動性方法包括：

### **(一)買賣價差(Bid-Ask Spread)**

報價買賣價差(Quoted Spread)為賣方賣價(Best Offer)與買方買價(Best Bid)的價差，價差越小代表市場流動性越高。

### **(二)Kyle's Lambda**

Kyle's Lambda  $\lambda = \Delta P / Q$  衡量單位交易量對價格變動的影響。 $\lambda$  值越高，表示市場價格受單筆交易影響較大，流動性較低，反之流動性較高。監管機構監測市場操縱與流動性風險，例如若某市場的  $\lambda$  突然上升，可能表示市場流動性問題或市場操縱行為。

---

<sup>11</sup> BIS (1999)。

### **(三)資訊交易機率(Probability of Informed Trading, PIN)**

資訊交易係指某些交易者擁有市場資訊並影響價格，PIN 值愈高代表市場資訊不對稱程度高，例如小型股通常 PIN 值高，因為資訊較少，內部人士影響較大，大型股通常 PIN 值低，因為市場資訊較透明。

PIN 與市場流動性密切相關，根據市場微結構理論，有資訊的交易者會利用其私人資訊買進或賣出資產，交易商無法直接觀察誰是有資訊的交易者，但能從訂單流中推測，為了避免虧損，交易商會提高買賣價差以補償資訊不對稱風險。因此，PIN 越高，代表市場中資訊交易者的比例越高，交易商越擔心資訊不對稱風險，結果導致買賣價差擴大，市場流動性下降。

根據 Lu and Wong (2008)<sup>12</sup>以 1997 年至 2005 年台灣證交所之日內資料的研究，台灣股票市場的平均 PIN 約為 20%，高於美國股票市場的平均值 19.1%，該研究建議台灣證券交易所應可運用最新的日內交易資訊計算 PIN 值，作為監管證券市場異常交易之參考指標，意即應特別關注具有高 PIN 值之股票。

### **三、由 2020 年 3 月市場流動性危機看市場微結構的政策意涵**

2020 年 3 月 COVID-19 爆發開始，投資人因擔憂市場動盪而大規模提前贖回投資部位，10 年期美國國債殖利率在短時間內大幅上升，與股票市場的負相關性改變。市場動盪蔓延至公司債市場，投資級和高收益債券的利差顯著擴大，市場流動性出現問題。2020 年 3 月的市場危機暴露現有金融市場結構和監管框架的諸多問題，導致市場和監管機構對改革的呼聲不斷增強。主要的改革建議如下：

#### **(一)監管調整**

因應 2008 年全球金融危機，美國於 2010 年 7 月頒布「陶德—法

---

<sup>12</sup> Y. C. Lu and Woon K. Wong (2008)。

蘭克法案」(Dodd-Frank Act)，2015年7月21日實施「沃克爾法則」(Volcker Rule)。「陶德—法蘭克法案」加強對銀行的監管，限制其交易和流動性供應能力，故出現放寬銀行資本要求，允許銀行在市場壓力時提供更多流動性，而非被動收縮資產負債表；放寬沃克爾法則部分限制，允許銀行在市場壓力期間進行更多自營交易，以提升銀行在市場壓力期間的流動性供應能力。

## (二)市場結構改革(Market Structure Reform)

推動全面電子化交易，如電子限價訂單簿(Limit Order Book, LOB)模式，以提高市場流動性與透明度。建立集中結算機構(CCP)，提高交易對手風險管理能力，減少OTC市場的交易與流動性風險。

發展區塊鏈與智能合約技術，提升交易執行效率，減少市場摩擦成本。透過區塊鏈的分散式網路以及不可竄改的特性，雙方或多方可以利用預先寫入智能合約中的條件，當條件滿足後自動執行後續的動作，無須信任的第三方(如律師、銀行)介入。例如因應數位金融發展現實世界資產(RWA)代幣化，由於代幣化係在區塊鏈上直接進行交易，故可透過智能合約自動進行結算及清算等流程，毋須中介機構，讓貨幣與資產同步完成收付，藉此提升交易效率並實現即時清算。

## 伍、網絡分析在實證金融中的應用

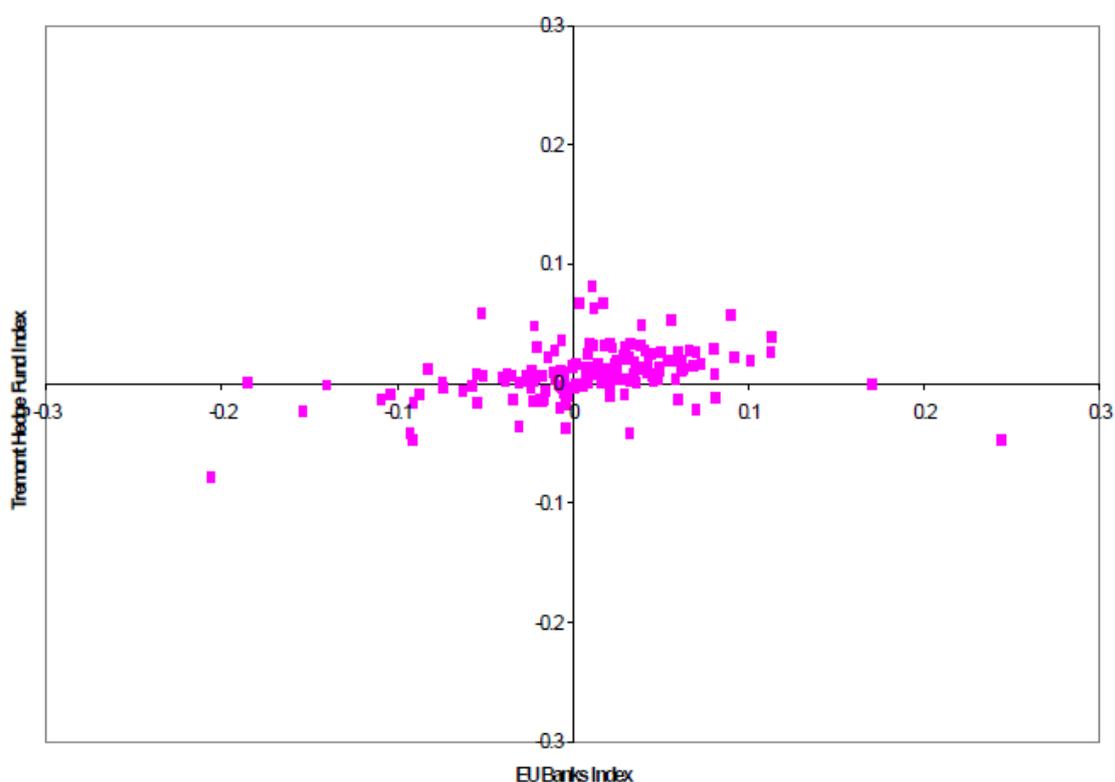
### 一、金融網絡與系統性風險

在現代金融體系中，銀行與其他金融機構之間高度依賴，不僅來自支付系統的清算連結，也來自對共同資產的持有、利率風險的曝險、以及複雜的資產證券化。這些交錯的關係使得單一機構的風險可能迅速蔓延，轉化為整體系統性風險。

對沖基金從事市場中立(Market Neutral)之投資組合交易，不與市

場方向對賭，然其真實曝險往往複雜且難以監管。在 2008 年金融海嘯爆發前，對沖基金與銀行的指數月報酬資料中並無明顯關聯(圖 13)，然而當流動性壓力突如其來，這些看似無關的機構卻與銀行同步下跌，揭露了潛藏的極端依賴關係。

圖 13、對沖基金與銀行的指數月報酬率資料散狀圖(1994 年~2007 年)



資料來源：課程講義

分析不同的金融網絡與系統性風險的關係，了解金融機構間的連結性如何影響金融體系的穩定性，主要結論如下：

(一)金融機構之間的互聯網絡越多，金融體系對個別風險的抵禦能力越強，故監管機構應促進銀行間適度互聯，以提高市場穩定性。

(二)高度連結的金融網絡易受系統性風險影響，故監管機構應當

限制過度互聯的金融市場，防止過度網絡效應導致系統性風險擴大。

(三)當市場面臨小型衝擊時，互聯網絡提供穩定性；當市場面臨大型衝擊時，完整連結的網絡變得脆弱，而較弱連結的網絡反而更穩定，故監管機構應該根據市場衝擊規模調整監管政策。

## 二、企業網絡模型(Firm Network Model)

### (一)企業網絡模型核心意涵

傳統總體經濟學假設若各企業面臨的衝擊彼此獨立，依據大數法則，在企業家數足夠多之下，這些衝擊在加總後會相互抵銷，不會對總體產出產生顯著波動，因此 Lucas (1977)<sup>13</sup>主張個體衝擊在總體層面會被平均化，真正導致 GDP 波動的是總體性衝擊(如政策變動、戰爭等)，而非個體性衝擊。

Acemoglu et al. (2012)<sup>14</sup>指出個體衝擊(micro shocks)可能透過產業聯繫網絡，轉化為具有總體經濟影響的總體波動(macro volatility)：

1. 當產業間存在明確的投入依賴結構(如供應鏈網絡)，單一產業的衝擊會透過產業間的相互依賴而擴散至整體體系。
2. 若供應鏈結構呈現非規則結構(non-regular)或中心化(centralized)結構，即部分產業的投入或產出占據極大比重，網絡將呈現不對稱、長尾分布特徵。
3. 在此情況下，局部衝擊不再能被平均化，反而可能透過網絡傳導引發總體變動。

---

<sup>13</sup> Lucas, Robert E. (1977)。

<sup>14</sup> Acemoglu, Daron, Vasco M. Carvalho, Asuman Ozdaglar, and Alireza Tahbaz-Salehi (2012)。

## (二)企業網絡理論模型

企業網絡模型(如基於投入產出(Input-Output)等網絡)研究企業間的供應鏈關係，以及企業層面的衝擊如何傳播至整體經濟。假設一個經濟體由多個行業組成，每個行業生產的產品用於其他行業作為中間投入，形成供應鏈網絡(Intersectoral Network)，當一個行業受到衝擊時，其影響會沿著供應鏈向下游(甚至向上游)傳播，且如果企業之間存在強烈的供應鏈連結，則個別企業的衝擊可以傳播並影響整體經濟。透過企業網絡模型可以了解某個關鍵產業(如半導體)遭遇衝擊，其直接影響(直接減少該產業的產出)，及間接影響(透過供應鏈影響其他產業)，有助評估供應鏈斷鏈或面臨衝擊所造成的總體影響。數學理論模型設定及應用指標說明如下：

1. **經濟體系**：有  $n$  個產業，每個產業皆需投入其他產業的產品作為中間財，並使用勞動力來生產最終產品。
2. **生產函數(Cobb-Douglas 形式)**：

$$x_i = z_i \cdot l_i^\alpha \cdot \prod_{j=1}^n x_{ij}^{(1-\alpha)w_{ij}}$$

其中，

$x_i$  為  $i$  產業的產出；

$z_i$  為  $i$  產業的生產力水準， $\varepsilon_i = \log(z_i)$  為  $i$  產業生產力衝擊(或產業技術水準的變化)；

$l_i$  為勞動投入；

$\alpha \in (0,1]$  為勞動份額；

$w_{ij} \geq 0$  為  $i$  產業使用  $j$  產業的投入占比(建構成  $W$  矩陣，圖 14)。

圖 14、W 矩陣示意圖  
供應者 j 產業

		Industry A	Industry B	Industry C	Industry D
使用者 i 產業	Industry A	$w_{1,1}$	$w_{1,2}$	$w_{1,3}$	$w_{1,4}$
	Industry B	$w_{2,1}$	$w_{2,2}$	$w_{2,3}$	$w_{2,4}$
	Industry C	$w_{3,1}$	$w_{3,2}$	$w_{3,3}$	$w_{3,4}$
	Industry D	$w_{4,1}$	$w_{4,2}$	$w_{4,3}$	$w_{4,4}$

資料來源：本文繪製

### 3. 網絡結構(投入占比 W 矩陣)

構建一個  $n \times n$  的矩陣  $W$ ，每個元素為  $w_{ij}$ ，即  $i$  產業向  $j$  產業購買投入的比重，該矩陣描述產業間依賴關係(供應鏈網絡)。

### 4. Leontief 逆矩陣推導

將生產函數取對數並經過移項可得到：

$$\log(x) = \text{常數項} + (I - (1 - \alpha)W^T)^{-1} \cdot \varepsilon$$

其中，Leontief 逆矩陣  $L = (I - (1 - \alpha)W^T)^{-1}$ ， $\varepsilon$  為  $i$  產業生產力(或技術)衝擊向量。

Leontief 逆矩陣  $L$  描述整個經濟體系中，每個產業如何受其他產業衝擊的網絡結構傳導，再結合各產業生產力(或技術)衝擊變化  $\varepsilon$ ，進而影響總體經濟  $\log(x)$ 。

### 5. 分析指標

在本模型架構下，有兩個關鍵的量化指標可以從 Leontief 逆矩陣中導出：

(1) **Domar 權重  $v_i$** ：衡量  $i$  產業的生產力(或技術)衝擊變動對整體 GDP 的乘數效應，數值愈高者為系統性重要產業。

$$v_i = \sum_j l_{ji}$$

其中， $l_{ji}$  是 Leontief 逆矩陣第  $j$  列第  $i$  行的元素，表示當  $i$  產業的生產力(或技術)效率  $z_i$  增加 1 單位時， $j$  產業的產出將增加  $l_{ji}$  單位。故將 Leontief 逆矩陣  $L$  的第  $i$  行加總，即得出 Domar 權重( $v_i$ )。

- (2) **總體波動**  $\sigma_{agg}$ ：衡量在所有產業面臨生產力(或技術)衝擊時，經由供應鏈結構放大傳遞後，對整體 GDP 造成的波動程度(標準差)。

假設每個產業生產力(或技術)衝擊  $\varepsilon_i$  為  $N(0,1)$  且互相獨立，透過 Leontief 乘數矩陣傳導到產業總產出：

$$\log(x) = \text{常數項} + L \cdot \varepsilon, \text{ 可得到}$$

$$\text{總體波動變異數} : \sigma_{agg}^2 = v^T \cdot \text{Var}(\varepsilon) \cdot v = \sum_i v_i^2,$$

$$\text{總體波動標準差} : \sigma_{agg} = \sqrt{\sum_i v_i^2}, \text{ 其中 } v_i \text{ 是 } i \text{ 產業的 Domar 權重。}$$

- (3) **Bonacich 中心性**  $b_i$ ：衡量  $i$  產業在供應鏈網絡中的結構影響力，反映一個產業被依賴程度，以及其依賴對象是否也很有影響力，數值愈高代表  $i$  產業對整體供應網絡具有潛在放大效應。

$$b = (I - \mu W^T)^{-1} \cdot 1$$

其中， $I$  是一個  $n \times n$  單位矩陣； $1$  是  $n \times 1$  數值皆為 1 的行向量，代表在沒有任何網絡連結的情況下，每個產業的 Bonacich 中心性為 1，表示僅來自自身影響，若它有網絡連結且連結對象有較高的中心性，則 Bonacich 中心性會再進一步提升； $\mu$  為傳遞衝擊的折扣因子，通常設定為 0.3。

可利用企業網絡理論模型分析天災(如地震)、地緣政治風險(如川普對等關稅)、原物料價格上漲等事件，對產業生產力或成本效率產生衝擊( $i$  企業的 $z_i$ 出現變動)，透過 Domar 權重 $v_i$ 指標分析不同產業網絡結構對總體經濟之影響，透過 Bonacich 中心性 $b_i$ 分析哪些產業對整體供應網絡具有潛在放大效應，以及了解總體波動 $\sigma_{agg}$ 是否因此提高；政府亦可利用企業網絡理論模型建立預警系統，若某產業 Bonacich 中心性及 Domar 權重皆較高，即設為系統性關鍵產業。

## 陸、結論與建議

### 一、結論

#### (一)從選擇權市場中萃取風險資訊，有助強化政策決策

風險中立機率密度(RND)提供一種從選擇權價格推估市場對未來資產價格機率分布的方法，不僅可了解市場對平均通膨率的預期，更可捕捉尾部風險。相較於傳統模型與調查預測，RND 具有即時性與市場導向的優勢。

#### (二)極端事件分析有助評估尾部風險與系統性風險

透過極值理論(EVT)與分位數圖(QQ-Plot)，可辨識資產報酬分布的尾部特性，補足傳統常態假設下風險評估的不足。另外，結合 EVT、CoVaR、MES 等指標，有助監管機構掌握金融機構的尾部風險與系統性風險，輔助金融穩定監理。

#### (三)市場微結構分析衡量資訊不對稱與流動性風險

市場價格不僅反映資產的內在價值，也受到資訊不對稱、交易成本與庫存持有等摩擦因素影響。透過買賣價差、Kyle's  $\lambda$ ，以及 PIN 指標，可系統性衡量市場流動性與資訊透明度。2020 年 COVID-19 爆發，金

融市場大幅動盪，金融市場流動性出現問題，暴露金融市場結構和監管架構的問題，凸顯監管政策的彈性調整與市場結構改革的必要性。

#### **(四)企業網絡模型有助了解個體衝擊對總體經濟的傳導機制**

透過企業網絡模型與 Leontief 逆矩陣，可量化產業間供應鏈連結的結構與衝擊傳導路徑，修正傳統經濟學認為個體衝擊會相互抵銷的假設。透過 Domar 權重指標衡量單一產業對整體 GDP 的乘數效應，Bonacich 中心性指標則可了解單一產業在供應鏈網絡中的結構影響力大小。若企業網絡呈現中心化或非規則結構，則個體產業的衝擊將可能經由網絡放大影響總體經濟。企業網絡模型適用於模擬如地震、貿易戰、供應鏈斷鏈等事件對總體經濟的影響。

## **二、建議**

### **(一)密切關注及持續研究金融市場預警指標，強化市場監測與風險管理機制**

近年地緣政治緊張關係之不確定性，透過實質管道(如國際貿易及技術移轉限制)與金融管道(如資本管制、金融制裁等)，衝擊全球經濟成長與金融情勢，引發金融穩定風險，亦可能提高金融市場極端事件發生的機率。有鑑於此，密切關注金融市場預警指標，例如利用遠期、選擇權市場資訊即時追蹤市場對匯率、利率及通膨的預期；強化極值分析、系統風險衡量與網絡分析，有助及早發現潛在風險，並採取適當因應措施。

### **(二)市場微結構理論顯示提升金融市場資訊透明度、增加市場流動性及降低交易成本，有助降低金融體系遭遇極端事件而出現大幅動盪**

我國政府相關單位宜持續致力於提升金融市場資訊透明度、增加市場流動性及降低交易成本，例如本行採行彈性的管理浮動匯率制

度，維持新台幣匯率動態穩定、實施公開市場操作，調節銀行體系資金、研究數位貨幣(CBDC)發行之規劃與貨幣之數位轉型等，以及金管會強化 ETF 市場監理措施、強化基金之資訊揭露與適合度評估等措施，均有助強化金融市場結構。

## 參考資料

- 1.瑞士中央銀行基金會 2025 年舉辦之「實證金融課題(Topics in Empirical Finance)」研習課程上課講義。
- 2.Acemoglu, Daron, Vasco M. Carvalho, Asuman Ozdaglar, and Alireza Tahbaz-Salehi (2012), “The network origins of aggregate fluctuations,” *Econometrica*, 80, 1977–2016
- 3.BIS (1999), “Market Liquidity: Research Findings and Selected Policy Implications,” 3 May
- 4.Douglas T. Breeden and Robert H. Litzenberger (1978), “Prices of State-Contingent Claims Implicit in Option Prices,” *The Journal of Business*, Vol. 51, No. 4 (Oct., 1978), pp. 621-651
- 5.Lucas, Robert E., 1977. “Understanding business cycles,” *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, Elsevier, vol. 5(1), pages 7-29, January
- 6.Michael W. McCracken and Aaron Amburgey (2021), “Market-Based Measures of Inflation Risks,” *Journal of Money, St. Louis Fed On the Economy*, March 24
- 7.Y. C. Lu and Woon K. Wong (2008), “Probability of Information-based Trading as a Pricing Factor in Taiwan Stock Market,” SSRN , 2 April
- 8.Urban J. Jermann (2017), “Financial Markets’ Views about the Euro–Swiss Franc Floor,” *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 49, No. 2–3, March-April