



國立臺灣科技大學
財務金融研究所碩士班
金融機構管理課程

學號：M11218014

金融機構之資產規模與財務槓桿
和風險承擔之關係

研究生：王士誠

指導教授：與學生最親近的 薛博今 博士

中 華 民 國 一 一 三 年 六 月

目錄

第一章、緒論.....	3
1.1 研究背景與動機.....	3
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究架構與流程.....	4
第二章、文獻探討.....	6
2.1 文獻回顧.....	6
2.2 研究假說.....	6
第三章、研究方法.....	7
3.1 研究樣本與變數.....	7
3.1.1 研究樣本.....	7
3.1.2 Z-score 之定義	9
3.2 研究理論模型.....	9
第四章、實證分析.....	11
4.1 變數與 VIF 檢定	11
4.2 迴歸模型結果分析.....	13
4.2.1 模型結果說明.....	13
第五章、研究結論與建議.....	22
5.1 研究結論.....	22
5.2 未來研究建議.....	22
參考文獻.....	24

圖目錄

圖 1-1：研究流程圖	5
-------------------	---

表目錄

表 3-1：公司違約年度與違約家數統計表	7
表 3-2：研究樣本產業分布統計	8
表 4-1：進入程式之變數	11
表 4-2：量化變數 VIF 檢定結果	12
表 4-3：1 號模型迴歸結果	15
表 4-3：2 號模型迴歸結果	17
表 4-3：3 號模型迴歸結果	20

第一章、緒論

1.1 研究背景與動機

隨著全球經濟的不穩定性加劇，金融機構的風險管理和財務健康狀況成為了重要的研究課題。特別是 2008 年金融危機和 2021 年 COVID-19 疫情危機期間，金融機構面臨的挑戰更加明顯。本研究旨在探討臺灣金融機構（包括商業銀行和金融控股公司）的資產規模、財務槓桿和風險承擔之間的關係，並觀察這些危機事件對金融機構風險承擔的影響。

根據 Bhagat et al. (2015) 的研究，金融機構的規模與風險承擔之間存在顯著的正相關關係，即規模越大，風險承擔越高。在此背景下，本研究希望通過分析臺灣金融機構的數據，驗證此結論是否適用於臺灣市場，並進一步探討其他影響財務健康的因素，如市帳值比、負債比率和公司治理結構。

1.2 研究目的

本研究期可達成之目的如次：

1. 探討規模效應與營運槓桿對臺灣金融機構（商業銀行、金融控股公司）的風險承擔影響，並觀察 2008 金融危機時期與 2021 COVID-19 疫情危機時期是否具顯著影響。
2. 以公共政策之角度，本研究十分重要，因為金融機構之風險承擔行為將影響經濟環境的脆弱性與經濟成長。本研究變數涵蓋基本面、財務面及公司治理面，期可作為往後金融機構風險控制機制之參考。

1.3 研究架構與流程

本研究分為五章，各章節之安排與內容摘要如下，研究流程圖如圖 1-1。

第一章、緒論

敘述本研究之動機、目的、架構及流程。

第二章、文獻探討

探討學者對金融機構風險管理之相關研究，並提出本研究假說。

第三章、研究方法

說明本論文研究對象、資料來源、變數定義、研究設計及理論模型。

第四章、實證分析

解讀迴歸模型對金融機構財務健康狀況之分析結果、模型的顯著變數與正確率，以及隱含之經濟意涵。

第五章、研究結論

綜合整理實證結果與研究貢獻，做出結論。

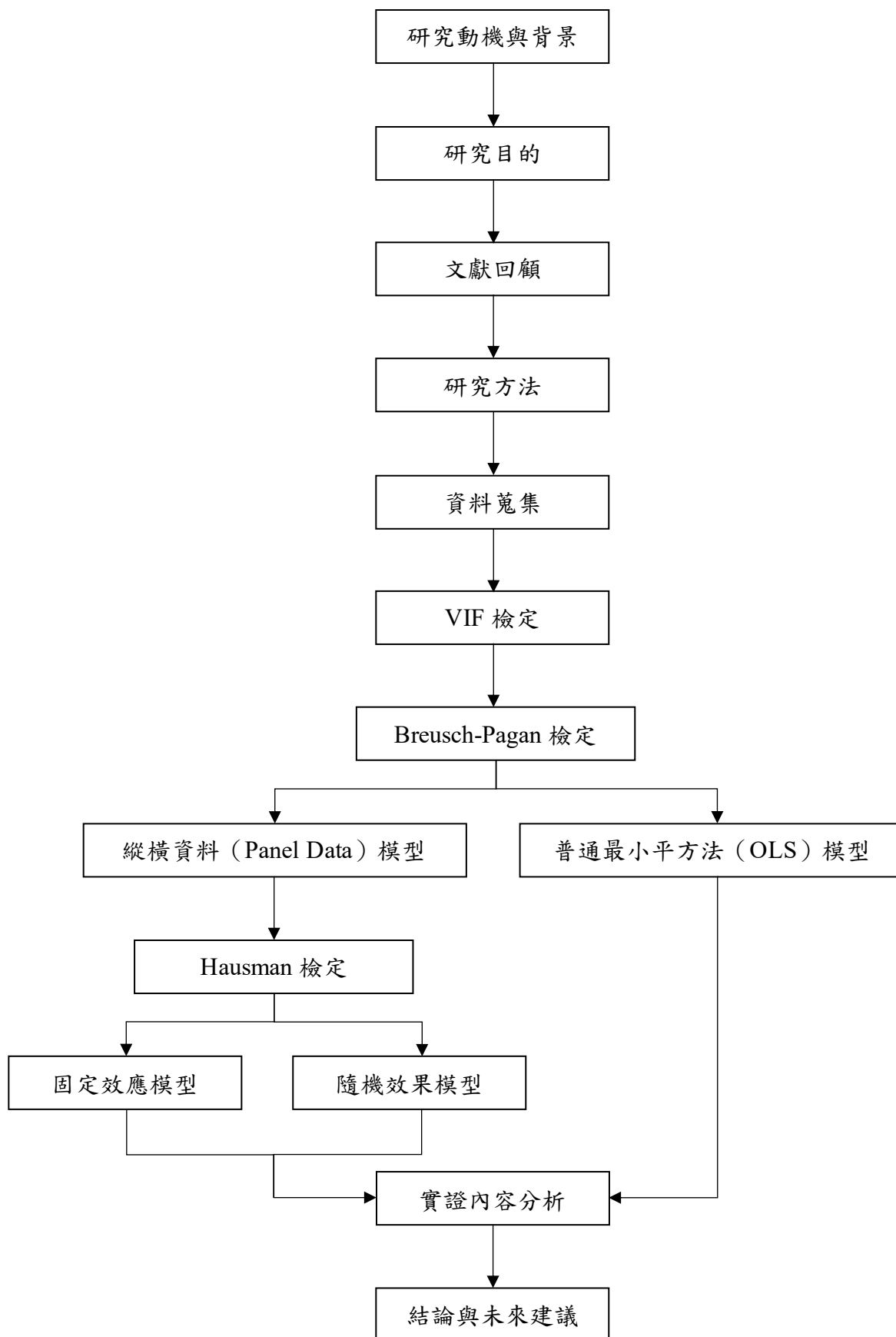


圖 1-1：研究流程圖

第二章、文獻探討

2.1 文獻回顧

Sanjai Bhagat, Brian Bolton and Jun Lu 之研究探討了 2002 年至 2012 年間美國金融機構的規模與風險承擔之間的關係。研究樣本包括商業銀行、投資銀行和人壽保險公司，使用多種風險測量指標，如 Z-score 和 Merton 違約距離，藉以分析這些機構的風險承擔行為。研究發現，公司規模與風險承擔呈正相關，即規模越大，風險承擔越高，即使在控制了市場價值比和公司治理結構等可觀察特徵後，這一結果依然成立。

在不同時期的分析中，研究發現金融危機前（2002-2006 年）和危機期間（2007-2009 年），銀行規模與風險之間的呈顯著正相關，但在危機後（2010-2012 年）則不明顯，這可能是因為危機後的監管加強了對銀行風險承擔的限制。研究結果對政策制定具有重要啟示，與其僅僅限制銀行規模，不如加強對所有金融機構的資本要求來更有效地控制風險。

2.2 研究假說

本研究建立假說如下：

H1：金融機構資產規模與 Z-score 呈負向關係

H2：金融機構之公司治理與 Z-score 呈正向關係

H3：金融機構之營運槓桿與 Z-score 呈負向關係

H4：金融危機時期對於 Z-score 具顯著負向影響

H5：疫情危機時期對於 Z-score 具顯著負向影響

第三章、研究方法

3.1 研究樣本與變數

3.1.1 研究樣本

本研究之對象與取樣時間如下：

1. 資料來源：臺灣經濟新報（TEJ）資料庫
2. 研究樣本取樣時間：2006–2023 年，共 18 年之金融機構各方面數據，設定其中 2007–2009 為金融危機期間，2020–2022 為疫情危機期間。
3. 研究樣本公司家數：臺灣上市之 17 家商業銀行、14 家金融控股公司，共 460 筆資料。

表 3-1：樣本取樣年度與資料筆數統計表

年度	資料筆數	年度	資料筆數
2006	28	2015	26
2007	25	2016	25
2008	26	2017	25
2009	26	2018	25
2010	26	2019	25
2011	27	2020	25
2012	26	2021	25
2013	26	2022	24
2014	26	2023	24

表 3-2：研究樣本統計

商業銀行	金融控股
上海商銀	中信金
大眾銀	元大金
中華銀行	日盛金
王道銀行	台新金
台中銀	永豐金
合庫	玉山金
安泰銀	兆豐金
京城銀	合庫金
高雄銀	國泰金
凱基銀行	第一金
渣打銀行	富邦金
瑞興銀	華南金
僑銀	開發金
彰銀	新光金
臺企銀	
遠東銀	
聯邦銀	

4. 應變數 Y：Z-score，用以衡量風險承擔
5. 自變數 X：資產規模、負債比率、董事持股率、經理人持股率
6. 控制變數 Control Variables：稅後淨利、市帳值比、公司年齡
7. 虛擬變數 Dummy Variables：金融危機期間（是則為 1，否為 0）、疫情危機期間（有則為 1，無為 0）

3.1.2 Z-score 之定義

Z-score 為衡量銀行風險的一個重要指標，用以評估銀行財務健康狀況。Z-score 的計算公式為：

$$Z - score = \frac{ROA + \frac{Equity}{Assets}}{\sigma(ROA)}$$

其中，ROA(Return on Assets) 表示資產報酬率，代表銀行的盈利能力； $\frac{Equity}{Assets}$ 表示權益資產比，用以衡量銀行資本之充足性，即銀行可承擔之損失程度； $\sigma(ROA)$ 表示 ROA 之標準差，此數據反映銀行收益之波動性，波動性愈大，風險愈高。

因此，Z-score 分數愈高，表示銀行愈穩健，破產風險愈低。本研究將 Z-score 作為應變數，觀察銀行整體財務健康狀況與各面向自變數之關係。

3.2 研究理論模型

本研究採用了縱橫資料 (Panel Data) 分析模型，以深入探討隨時間變化之自變數對應變數的影響。進行具體的模型分析前，首先對量化的自變數進行多重共線性檢驗，使用變異數膨脹因子 (Variance Inflation Factor, VIF) 檢定。VIF 檢定之目的為確保自變數之間彼此沒有高度共線性，避免因共線性問題導致的估計結果不穩定和解釋力下降。一般來說，當 VIF 值大於 10 時，表示變數之間存在多重共線性問題，需要進一步處理，如剔除部分變數或進行變數轉換。

而後，本研究進行 Breusch-Pagan 檢定，以檢查模型是否存在異質變異數 (heteroscedasticity)。異質變異數指的是誤差項的變異數不等，這將導致最小平方估計量不再是最佳線性不偏估計量 (BLUE)，從而影響估計結果的有效性。Breusch-Pagan 檢定的結果若顯著 (P-value < 0.05)，表示存在異質變異數問題，可能需要使用異質變異數一致的標準誤或其他方法進行修正。

確保數據品質後，本研究進一步執行 Hausman 檢定，以決定應使用固定效

應模型 (Fixed Effects Model) 或隨機效果模型 (Random Effects Model)。Hausman 檢定的原假設是隨機效果模型中的個體效應與自變數無關，若檢定結果不顯著 ($P\text{-value} > 0.05$)，則可以接受隨機效果模型，否則應使用固定效應模型。固定效應模型能夠控制住那些不變的個體特質，而隨機效果模型則假設這些特質為隨機分布且與自變數無關。

第四章、實證分析

4.1 變數與 VIF 檢定

本文選用了以下變數進行分析，詳見表 4-1。其中變數涵義如下：

1. 資產規模（標準化）：代表金融機構總資產大小，經標準化處理後可更方便比較不同金融機構之間的資產規模。
2. 負債比率：衡量金融機構償債能力的重要指標，反映公司財務結構的穩定性。
3. 經理人持股率和董事持股率：代表公司治理情形，這些指標常被用來衡量管理層與股東利益的一致性。
4. 稅後淨利（自然對數）：用來衡量金融機構的獲利能力，經自然對數轉換後可以減少數據的波動性。
5. 市帳值比：反映金融機構的市場價值與帳面價值的比率，常用來評估其價值是否被市場高估或低估。
6. 公司年齡：代表金融的歷史和經驗，通常存在較久遠的金融機構會有更多的市場經驗和穩定性。
7. 金融危機期間和疫情危機期間：這些虛擬變數用來捕捉總體經濟環境對金融機構營運的影響。

表 4-1：進入程式之變數

變數類別	變數名稱
資產負債表變數	資產規模（標準化）
償債能力指標變數	負債比率
公司治理變數	經理人持股率
	董事持股率
獲利能力指標變數	稅後淨利（自然對數）
公司價值指標變數	市帳值比
公司基本資料變數	公司年齡
總體環境變數	金融危機期間（是 = 1）

變數類別	變數名稱
	疫情危機期間（是 = 1）

為確保迴歸模型的可靠性，本研究對選定的量化變數進行了多重共線性檢測。多重共線性是指自變數之間存在高度相關性，此將導致迴歸模型的不穩定性和結果的不可靠性。常用的檢測方法為變異數膨脹因子（VIF），其值越高，表示共線性問題越嚴重。通常，VIF 值小於 10 被認為是可接受之範圍。

從表 4-2 的結果可看出，所有變數的 VIF 值均小於 10，顯示不存在嚴重的多重共線性問題。因此本研究選取的變數皆可同時用於迴歸模型中，而不會對結果的穩定性產生顯著影響。

表 4-2：量化變數 VIF 檢定結果

變數名稱	VIF
資產規模（標準化）	1.591206
負債比率	1.149534
經理人持股率	1.129476
董事持股率	1.135100
稅後淨利（自然對數）	1.501716
市帳值比	1.119861
公司年齡	1.240491

4.2 迴歸模型結果分析

4.2.1 模型結果說明

1. 1 號模型

- (1) 說明：將原始模型中 4 項量化變數（資產規模、經理人持股率、稅後淨利、公司年齡）與 1 項虛擬變數（金融危機期間）納入模型。惟 1 號模型缺少本研究關注之重要自變數，將於後續進行變數調整。

(2) Breusch-Pagan 檢定

在量化分析中，我們需檢驗模型是否存在異質變異數（Heteroskedasticity），異質變異數指的是模型殘差的變異數不恆定，此將影響估計參數的有效性和統計檢驗的可靠性。為了檢測異質變異數，本研究使用了 Breusch-Pagan 檢定。

Studentized Breusch-Pagan Test
Data：1 號模型
BP = 16.165, df = 5, p-value = 0.006388

從檢定結果可看出：檢定統計量（BP）為 16.165、自由度（df）為 5、p 值為 0.006388。Breusch-Pagan 檢定的虛無假設為模型不存在異質變異數，即殘差的變異數是恆定的。當 p 值小於顯著水準（通常設定為 0.05）時，將拒絕虛無假設，認為模型存在異質變異數。在 1 號模型中，檢定結果的 p 值為 0.006388，遠小於 0.05，表示具有足夠的證據拒絕虛無假設，意即 1 號模型存在顯著的異質數問題，無法使用最小平方法模型估計，應採用縱橫資料（Panel Data）分析。

(3) Hausman 檢定

Panel Data 分析中，須選擇適當的模型，常用的模型包括固定效應模型（Fixed Effects Model）和隨機效應模型（Random Effects Model）。為了選擇合適的模型，本研究進行 Hausman 檢定，檢測固定效應模型和隨機效應模型之間的差異。1 號模型檢定結果如下：

Hausman Test
Data : 1 號模型
chisq = 31.711, df = 5, p-value = 6.779e-06

Hausman 檢定之虛無假設為隨機效應模型參數估計具有一致性，意即該模型能夠給出正確的參數估計。當 p 值小於顯著性水準（通常設定為 0.05）時，拒絕虛無假設，認為隨機效應模型為不一致的，固定效應模型較為適合。本研究中，檢定結果的 p 值為 6.779e-06，遠小於 0.05，具有足夠的證據拒絕虛無假設。因此，後續將採固定效應模型進行分析。

(4) 迴歸模型結果與模型方程式

模型結果：

表 4-3：1 號模型迴歸結果

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)	Signif.
資產規模	-8.35206	1.87396	-4.4569	1.066e-05	***
經理人持股率	8.88715	4.67112	1.9026	0.0577735	.
稅後淨利	0.50491	0.46762	1.0798	0.2808662	
公司年齡	1.32299	0.22605	5.8528	9.689e-09	***
金融危機期間	-8.30255	2.44184	-3.4001	0.0007374	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 130460

Residual Sum of Squares: 106210

R-Squared: 0.18584

Adj. R-Squared: 0.11863

F-statistic: 19.3563 on 5 and 424 DF, p-value: < 2.22e-16

模型方程式：

$$\begin{aligned}
 Z - score = & -8.35206 \text{ 資產規模} + 8.88715 \text{ 經理人持股率} \\
 & + 0.50491 \text{ 稅後淨利} + 1.32299 \text{ 公司年齡} \\
 & - 8.30255 \text{ 金融危機期間}
 \end{aligned}$$

(5) 自變數檢視：

變數類別	變數	係數	是否符合推論或經濟意涵
資產負債表變數	資產規模	-8.35206	V
公司治理變數	經理人持股率	8.88715	V
獲利能力指標變數	稅後淨利	0.50491	V
公司基本資料變數	公司年齡	1.32299	V
總體環境變數	金融危機期間	-8.30255	V

資產規模對金融機構財務健康狀況有顯著的負向影響，可能因為較大的資產

規模伴隨著較高的營運風險和管理挑戰，或是規模較大之金融機構會仗著自己「大到不能倒」的角色，相信政府會積極救市，因而採取風險較高之行為。

經理人持股率對金融機構財務健康狀況有正向影響，但顯著性較低，需要進一步研究來確認這一結果。

稅後淨利對金融機構財務健康狀況的影響不顯著，可能需要考慮其他獲利能力指標或進一步細化變數來進行分析。

公司年齡對金融機構財務健康狀況有顯著的正向影響，這表明隨著公司的成長和積累經驗，其財務績效會有所提升。

金融危機期間對金融機構財務健康狀況有顯著的負向影響，這表明金融危機對公司的穩定性和財務狀況有嚴重影響。

2. 2 號模型

- (1) 說明：以 1 號模型之 4 項量化變數（資產規模、經理人持股率、稅後淨利、公司年齡）與 1 項虛擬變數（金融危機期間）為基礎，增加 1 項量化變數（負債比率）進行迴歸模型分析。

(2) Breusch-Pagan 檢定

Studentized Breusch-Pagan Test
Data：2 號模型
BP = 16.827, df = 6, p-value = 0.009941

從檢定結果可看出：檢定統計量（BP）為 16.827、自由度（df）為 6、p 值為 0.009941。當 p 值小於顯著水準（通常設定為 0.05）時，將拒絕虛無假設，認為模型存在異質變異數。在 2 號模型中，檢定結果的 p 值為 0.009941，遠小於 0.05，表示具有足夠的證據拒絕虛無假設，意即 2 號模型存在顯著的異質數問題，無法使用最小平方法模型估計，應採用縱橫資料（Panel Data）分析。

(3) Hausman 檢定

2 號模型檢定結果如下：

Hausman Test
Data : 2 號模型
chisq = 36.11, df = 6, p-value = 2.625e-06

2 號模型中，檢定結果的 p 值為 2.625e-06，遠小於 0.05，具有足夠的證據拒絕虛無假設。因此，後續將採固定效應模型進行分析。

(4) 迴歸模型結果與模型方程式

模型結果：

表 4-4：2 號模型迴歸結果

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)	Signif.
資產規模	-7.49235	1.89775	-3.9480	9.227e-05	***
負債比率	-0.57899	0.24151	-2.3973	0.0169470	*
經理人持股率	9.71134	4.65790	2.0849	0.0376757	*
稅後淨利	0.72303	0.47384	1.5259	0.1277830	
公司年齡	1.29261	0.22515	5.7411	1.797e-08	***
金融危機期間	-8.29569	2.42828	-3.4163	0.0006962	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 130460

Residual Sum of Squares: 104790

R-Squared: 0.19675

Adj. R-Squared: 0.12839

F-statistic: 17.2687 on 6 and 423 DF, p-value: <2.22e-16

模型方程式：

$$\begin{aligned}
 Z - score = & -7.49235 \text{ 資產規模} - 0.57899 \text{ 負債比率} \\
 & + 9.71134 \text{ 經理人持股率} + 0.72303 \text{ 稅後淨利} \\
 & + 1.29261 \text{ 公司年齡} - 8.29569 \text{ 金融危機期間}
 \end{aligned}$$

(5) 自變數檢視：

變數類別	變數	係數	是否符合 推論或 經濟意涵
資產負債表變數	資產規模	-7.49235	V
償債能力指標變數	負債比率	-0.57899	V
公司治理變數	經理人持股率	9.71134	V
獲利能力指標變數	稅後淨利	0.72303	V
公司基本資料變數	公司年齡	1.29261	V
總體環境變數	金融危機期間	-8.29569	V

負債比率對金融機構財務健康狀況有顯著的負向影響，表示若公司提高其財務槓桿，可能增加財務風險，對財務健康造成不利影響。

3. 3 號模型

(1) 說明：將 2 號模型不顯著之變數（稅後淨利）刪除，換為市帳值比進行迴歸模型分析。

(2) Breusch-Pagan 檢定

Studentized Breusch-Pagan Test
Data : 3 號模型
BP = 18.399, df = 6, p-value = 0.005309

從檢定結果可看出：檢定統計量（BP）為 18.399、自由度（df）為 6、p 值為 0.005309。當 p 值小於顯著水準（通常設定為 0.05）時，將拒絕虛無假設，認為模型存在異質變異數。在 3 號模型中，檢定結果的 p 值為 0.005309，遠小於 0.05，表示具有足夠的證據拒絕虛無假設，意即 3 號模型存在顯著的異質數問題，無法使用最小平方法模型估計，應採用縱橫資料（Panel Data）分析。

(3) Hausman 檢定

3 號模型檢定結果如下：

Hausman Test
Data : 3 號模型
chisq = 43.59, df = 6, p-value = 8.912e-08

3 號模型中，檢定結果的 p 值為 8.912e-08，遠小於 0.05，具有足夠的證據拒絕虛無假設。因此，後續將採固定效應模型進行分析。

(4) 迴歸模型結果與模型方程式

模型結果：

表 4-5：3 號模型迴歸結果

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)	Signif.
資產規模	-8.79010	1.98664	-4.4246	1.231e-05	***
負債比率	-0.44295	0.23901	-1.8533	0.0645371	.
經理人持股率	10.03622	4.65086	2.1579	0.0314957	*
市帳值比	-5.73598	2.95992	-1.9379	0.0533026	.
公司年齡	1.33259	0.22235	5.9932	4.410e-09	***
金融危機期間	-9.46389	2.41484	-3.9190	0.0001037	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 130460

Residual Sum of Squares: 104440

R-Squared: 0.19944

Adj. R-Squared: 0.13131

F-statistic: 17.5632 on 6 and 423 DF, p-value: < 2.22e-16

模型方程式：

$$\begin{aligned}
 Z - score = & -8.79010 \text{ 資產規模} - 0.44295 \text{ 負債比率} \\
 & + 10.03622 \text{ 經理人持股率} - 5.73598 \text{ 市帳值比} \\
 & + 1.33259 \text{ 公司年齡} - 9.46389 \text{ 金融危機期間}
 \end{aligned}$$

(5) 自變數檢視：

變數類別	變數	係數	是否符合 推論或 經濟意涵
資產負債表變數	資產規模	-8.79010	V
公司治理變數	經理人持股率	-0.44295	V
獲利能力指標變數	稅後淨利	10.03622	V
公司價值指標變數	市帳值比	-5.73598	V
公司基本資料變數	公司年齡	1.33259	V
總體環境變數	金融危機期間	-9.46389	V

市帳值比的上升通常反映市場對該金融機構未來盈利能力的高度期望。然而，這種樂觀的預期若過於高估，會導致該機構股價處於泡沫狀態。一旦市場情況逆轉，這種泡沫可能會迅速破滅，導致股價大幅下跌，進而影響金融的財務健康狀況。此外，高市帳值比可能驅使管理層採取更高風險的投資策略，以實現市場的高預期收益。這些高風險投資若未能成功，會對機構的財務穩定性造成嚴重影響，增加財務困難的風險。研究顯示，依賴非利息收入的銀行，其系統性風險較高。由於高市帳值比通常與高市場評價和高非利息收入有關，這些機構在面臨市場波動時，可能更容易陷入財務困境。 [1]

第五章、研究結論與建議

5.1 研究結論

本研究通過縱橫資料（Panel Data）模型分析，得出以下結論：

1. 資產規模對金融機構財務健康狀況有顯著的負向影響，這可能是由於規模較大的機構更容易承擔高風險的投資行為，特別是在相信自己「大到不能倒」的背景下。
2. 市帳值比對財務健康狀況有顯著負向影響。這表明市場對機構未來盈利能力的高期望可能導致過度樂觀的投資行為，增加財務風險。
3. 負債比率對財務健康有顯著的負向影響，表示高負債水平可能增加財務風險，對財務穩定性造成不利影響。
4. 公司年齡對財務健康狀況有顯著的正向影響，表明隨著公司的成長和經驗積累，其財務績效會有所提升。
5. 經理人持股率對財務健康狀況有顯著的正向影響，顯示管理層的利益與股東利益一致時，有助於提升公司績效。
6. 金融危機期間對財務健康狀況有顯著的負向影響，表明金融危機對金融機構的穩定性和財務狀況有嚴重負面影響。

5.2 未來研究建議

1. 拓展樣本範圍：未來的研究可以考慮納入更多的樣本，包括不同地區和不同類型的金融機構，以檢驗結果的普遍性。
2. 深入探討市場預期與實際表現之間的差距：高市帳值比反映了市場對機構盈利能力的高期望，但若這種預期過高，可能導致財務風險增加。未來研究可以深入探討市場預期與實際表現之間的差距及其影響。
3. 考慮其他潛在變數：除了本研究探討的變數外，其他如宏觀經濟變數（如

利率變動、經濟增長率)也可能對金融機構的財務健康產生影響,值得進一步研究。

4. 長期影響分析:金融危機和疫情危機對金融機構的影響可能具有長期性,未來研究應考慮長期影響,並分析不同危機後的恢復過程及其對風險管理的啟示。

以上研究建議期可提供更全面的理解金融機構風險管理的策略,並為政策制定者提供參考,促進金融市場的穩定與健康發展。

參考文獻

- [1] A. Kariyawasam, "Analysing the Impact of Financial Ratios on a Company's Financial Performance," *International Journal of Management Excellence*, vol. 13, no. 1, pp. 1898-1903, 2019.
- [2] B. B. J. L. Sanjai Bhagat, "Size, leverage, and risk-taking of financial institutions," *Journal of Banking & Finance*, no. 59, pp. 520-537, 2015.