

An Integrated Data-Drive Methodology for Auditor Performance Appraisals and Auditor Assignment Optimization

稽核績效最佳化之稽核指派問題

Tzu-Chien Wang, Department of Business Administration, National Taiwan University
王子騫 / 國立臺灣大學商學研究所

Received 2020/9, Final revision received 2022/5

Abstract

With the expansion of related business groups and impact of digitization on financial industry in Taiwan, in recent years, financial holding companies often fail to provide adequate internal supervision and management due to problems of audit-staff scheduling, which frequently leads to adjudication and penalization. The study aims to solve the problem and find better performance evaluation method of auditors beginning by reviewing past performance appraisal models in prior literature. We then integrate the random forest and differential evolution technology and propose a two-stage data analysis method. Applying this method, we analyze audit data collected from the financial information system; optimize the internal audit performance; and resolve issues related to audio performance evaluation and task planning. The verification results show this two-stage model can accurately evaluate the audit performance of high-level audits under different tasks; smoothly assign appropriate audit tasks; and strengthen operational decisions. Secondly, we prove the construction of a multi-objective mathematical model based on provision of professional courses, audit qualification system, task auditing, etc. can optimally classify the most applicable action plan and dispatch rules, which are extremely helpful to the management of audit-staff scheduling. Lastly, with the practical application of this audit data project, we demonstrate the heuristic method suggested would be more feasible in execution than the conventional planning method.

【 Keywords 】 decision-making model, auditors performance appraisals, audit-task scheduling, dispatching rules, integrated data-drive models

摘要

近年來，隨著金融業相關事業群擴張及產業數位化，金控公司常會因稽核人力調度的困難，而造成內部監督管理疏失，導致裁罰案之發生。本研究探討績效評估方法論與產業稽核績效評估模式，並進一步整合隨機森林和差分進化技術，提出二階段數據分析模型；透過分析金控稽核數據來最佳化稽核人員績效值，並解決稽核績效評估與任務規劃問題。驗證結果顯示：(1) 二階段數據分析模型準確地評估稽核人員在不同工作下稽核表現，指派合適稽核任務，強化運營決策；(2) 建構專業課程、稽核資歷、稽核任務等構面的多目標決策模型，分類最佳方案及有應用價值的派工法則，對稽核人力管理極有助益；(3) 稽核數據專案的實地運用中，啟發式方法會較傳統規劃法更具可執行性。

【關鍵字】 決策模型、稽核績效評估、稽核任務規劃、派工法則、二階段數據分析模型

壹、緒論

在金融領域中，臺灣的銀行產業發展初期，由於採用分行機制，並搭配獨特的功能型體系，如金融業務部、信託部、財富管理部等業務部門的充分支援下，促使銀行相關的事業群體得以快速的發展，甚至擴及到海外市場。然而近年來，臺灣相關金融事業群體雖持續擴張，金控公司卻常因稽核人力調度困難，造成內部監督管理疏失，進而受到裁罰案。如何建立符合公司頒佈的「內部控制制度處理準則」稽核管理機制，以減少企業經營的風險，成為臺灣金控公司近期的企業目標之一（郭俐君與廖懿屏，2020）。

內部稽核管理的學術研究主要在探討人力投入與人力控制對內控缺失或稽核績效的影響 (Hirst, 1994; Brown and Leigh, 1996; Choi, Choi, Hogan, and Lee, 2013)。研究發現，稽核人力管理對稽核組織績效存在顯著正向關係。而在稽核人力管理的應用研究中，有兩類研究議題：一類是如何評估稽核人員或稽核單位的績效，探討如何透過量化方法評估稽核人員或稽核單位的工作績效，進而充分利用稽核人力資源；另一類是稽核人員的工作指派，使用數學規劃方法，將稽核人員或稽核單位的工作績效最大化、將工作時間或單位成本最小化，以此為決策目標，規劃符合公司內部稽核目標或特定需求的最佳稽核指派模式，解決現實中複雜的稽核任務規劃問題 (Aboud, Inuiguchi, Sakawa, and Uemura, 1998; Lin and Gen, 2008)。而根據這些文獻的研究結論，我們發現，若要有效提升稽核行業的營運效率，企業應先理解不同稽核人員的執行績效，再依據稽核任務性質的不同，指派適合的稽核人員，始能讓稽核作業達到最佳之效果 (Abdolmohammadi and Wright, 1987; Campbell, 1988; Maynard and Hakel, 1997)。換言之，必須先清楚地評估不同稽核人員在不同工作下之稽核績效，方能針對各種稽核任務指派適合的稽核人員。

過去研究以統計檢定方法、多變量方法、線性規劃法等量化方法進行稽核人員的績效與變數間攸關性 (Relevance) 驗證，藉此瞭解不同變數對稽核人員工作績效的影響。然而，若以此量化模式執行績效評估，仍需要足夠數量之歷史數據來估計參數，且估計過程必須具備非線性及隨機特性的處理能力。甚且，傳統統計方法常被批評只能應用在單純的線性預測，又必須滿足自變數間共線性、避免殘差項存在自我相關及資料要符合特定分配等統計假設；傳統線性規劃方法的最佳化方案求解，則會有執行時間過長、甚至無法求解之困難。因此，如何適切選擇適當的績效評估方法以建構一個稽核人員專屬的績效管理系統 (Performance Management System)，遂成為重要研究議題之一。

在前述量化績效評估模式之外，另有機器學習方法。其是一門應用分析學門，建模方式則是依據現有資料找出各預測變數與準則變數間的關係模式，之後再運用

此模式進行預測工作 (Fayyad, Piatetsky-Shapiro, and Smyth, 1996)。相對於統計檢定與多元迴歸分析方法在稽核人員的績效評估之應用而言，通常，機器學習預測模式並無傳統量化方法建構模式需要滿足許多假設條件的要求，也不需要複雜的參數估計，就能夠廣泛地處理數據中非線性與線性的問題，亦有較大的運用空間，在建構非線性問題預測求解方面亦展現優越能力（邱志洲、簡德年與高凌菁，2004）。而績效評估即屬於非線性問題處理之範疇，在求解過程常因資料分佈不均、不定性等特性產生偏誤。本研究以平衡資料機制處理輸入的績效數據，以隨機森林技術作為績效管理系統中產生「較隨機」績效值的引擎，使後續任務指派規劃增添隨機性的結果。本研究運用啟發式 (Heuristic) 方法文獻中的交配 (Crossover) 與突變 (Mutation) 技術跳脫全域最佳解，尋求一區域最佳解或可行解，使模型得以實地運用 (Morris and Showalter, 1983; Hwang, Kao, and Horng, 1994)。

為了精準估計不同稽核人員在不同工作下之稽核績效，同時了解在不同資料限制下之最佳人員指派方式，本研究以「金控公司稽核數據」為例，整合隨機森林技術和啟發式演算法，建構分析模型，評估內部稽核人員的稽核績效，再根據所求績效值進行最佳化稽核任務指派，藉此求解「稽核績效評估」與「稽核任務規劃」問題。由於金控提供的資料未有指派人員的所有績效數據，為了產生完整的稽核數據來進行稽核人員的指派規劃，本研究嘗試提出整合性的兩階段數據分析模型。第一階段使用隨機森林與機器學習迴歸技術精準估計，並模擬所有稽核人員在不同工作下之稽核績效，以進行所有值的預測；第二階段根據稽核人員績效的預測值，透過二進制差分進化法進行任務最佳化規劃，迴避整數規劃法在高維度問題求解的不可行性。

本研究和過往內部稽核研究相比，有以下幾項貢獻。本研究針對稽核人力規劃、內部稽核變數探討、稽核績效評估等實證研究的趨勢，提出「整合性機器學習與啟發式演算技術」的稽核績效最佳化模式，以企業真實工作場景和數據，針對金融業進行稽核績效管理的實證研究。透過應用過往文獻中績效評估和稽核指派的理論觀點，提出整合性實證模型。藉由所提供之績效評估模式與任務規劃模式，解決金控公司稽核部門常見的稽核管理問題（稽核人員績效預測、稽核任務指派、稽核派工準則），對企業在系統化評估各個稽核人員的任務績效及最佳化部門查核工作規劃皆有實質性的幫助。為管理科學方法在金融稽核研究領域之實務運用提供參考，該數據分析模型適用於金融產業中的所有稽核部門。

貳、文獻探討

一、數據驅動決策趨勢：稽核績效管理系統

金融稽核是指稽核人員依照金融法規與國家政策，對相關單位進行的檢查工作。執行稽核的過程中，稽核人員學習金融業務經營的相關知識，判斷企業的業務、財務、策略內容是否合理、明確和完整。在金融科技的快速發展下，法規遵循與風險控管愈形重要，金融稽核已成為金融體系中不可缺少的一部分。

於學界，臺灣學者致力於將內部稽核機制結合資訊科技（楊正甫，1995；吳東憲、黃劭彥與康熙宗，2019），國外學者則認為必須採用資訊科技與數據分析技術兼具的內部稽核模式，特別是稽核人員的績效評估之應用 (Bănărescu, 2015; Kirimi and Moturi, 2016; Kokina, and Davenport, 2017; L'Heureux, Grolinger, Elyamany, and Capretz, 2017; Boskou, Kirkos, and Spathis, 2019; Qiao, 2020)。

從長遠的角度來看，運用數據分析來加強稽核管理及品質控管的工作，以進行有效的持續性督促，是改善金融業營運績效的重要手段。而臺灣金融產業要如何發展出自己的績效評估模式，透過數據驅動決策 (Data-driven decision-making) 的績效管理系統來管理稽核人力，將是稽核領域的重要議題。

二、稽核人員績效評估方法探討

績效評估 (Performance Appraisals) 方法泛指運用數理統計、作業研究原理或特定指標體系，按照統一的標準及一定的程序，透過量化或質化的分析方法，對員工的績效或效率做出客觀、公正和準確的綜合評估，管理者及企業機構便可進行人力管理，提升組織的營運效率 (Aggarwal and Thakur, 2013; Ahmed, Sultana, Paul, and Azeem, 2013; Schleicher, Baumann, Sullivan, Levy, Hargrove, and Barros-Rivera, 2018)。

稽核績效評估與稽核指派皆為稽核績效管理研究的重要議題，前者以績效評估方法針對稽核人員的績效進行變數實證驗證為主；後者以數學模型規劃滿足企業的特定稽核目標及最佳化稽核任務調度。本研究則提出以決策支援系統為主的整合模式，其主軸是建構一個滿足單一或多個決策目標的稽核人員績效管理系統，包括績效評估與稽核任務指派模式。

如表 1 所列績效評估方法比較，可看出機器學習績效評估模式有幾個好處，茲整理如下：(1) 相較於現代績效評估模式與統計績效評估模式，機器學習績效評估模式運用大量的資料，以自動化方式進行資料探勘，找出有意義的關係或法則；運算後可以得到特徵及重要性排序，有助於增進稽核領域的人力資源決策；(2) 機器學習績效評估模式無須滿足許多假設條件，如：避免殘差項存在自我相關，避免自

表 1 稽核人員（單位）績效評估方法比較

類型	研究文獻	模型建構方法	優點	缺點	目的
績效評估	Petasis, Christodoulou, and Louca (2020)	現代績效評估模式： - 目標管理模型 - 績效衡量構面法 - 平衡計分卡法	運用多績效衡量構面評估，有助於完整評估單位的投入、產出與結果，評估達成情況。	分析方式多為敘述統計方法，依賴人工分析。而人工決斷易存有分析者偏見而影響決策。	運用計算、分類及比對實際績效與衡量間的差異。
	Francis (2011)	統計績效評估模式： --- 迴歸方法 - 變異數方法 - 無母數檢定方法	模型分析結果容易瞭解，且建構的模式容易再使用，有效整合預測變數，執行速度較快。	分析時若違反常態或變數應有假設時，分析結果不佳，且很難說明變數的相對重要性。	主要是探討稽核人員績效與相關變數之間的攸關性。
	Chen and Wang (2010)	機器學習績效評估模式： - 決策樹方法 - 神經網路方法 - 支援向量機方法 - 集成模型方法	模型預測較強，具嚴謹數學推論、巨量平行處理能力、容錯能力、能過濾雜訊特性，無須設立許多假設條件。	有其黑盒特性，可解釋性較差，並且會因為集成模型的複雜多過高，導致訓練時，處理時間過長。	在預測人員的績效，並提取高績效員工的分類規則發展績效評估模式
	Dodin and Elimam (1997)	最佳解稽核指派模式： - 整數規劃法 - 分支界線法 - 動態規劃法	可求得指派或分配問題的最佳解，來最佳化小型部門內部稽核人員指派、事務所任務規劃。	受限於電腦硬體空間不足無法順利求解，實用上不廣泛，須依靠最佳解作為評估標準。	主要以數學規劃相關方法，求得問題最佳解。
稽核指派	Wang and Kong (2012)	近似解稽核指派模式： - 基因演算法 - 粒子群演算法 - 差分進化法	適用於高維度問題、複雜限制問題求解，在實務上可行性較高，適用大型部門、跨部門、稽核小組之規劃。	必須適切選擇模型，難以收斂，且求解結果可能為一區域最佳解或可行解，無法確保解答是全域最佳解。	欲在有限計算時間內，求得一近似解的方法，作為可行的決策方案。
整合模型	本研究提出	整合績效管理模式： - 二階段數據分析模型	滿足單一或多個決策目標，可將分析模組化，同時包括多個子模組	須選擇最優模型，減少輸入資料分布不同導致的預測優劣互換情勢。	決策支援系統為主，協助管理員工績效。

註：本研究整理

變數間存在共線性問題及要求資料符合常態分配等相關統計假設，並且不需要複雜的參數估計，能夠廣泛地處理數據中非線性與線性的問題，在建構非線性問題求解的數學模式方面展現優越的求解能力。在不存在硬計算公式的績效評估方式，機器學習方法可以依靠其嚴謹的數學架構，稽核績效求解可得到精確的結果；(3) 集成式機器學習方法運用隨機篩選屬性子集合及迴歸模型，來減少機器學習模型分析時的過度擬合問題，增強訓練模型的一般化能力 (Generalization Ability)，獲得較其他機器學習更具穩健性、隨機性與非線性處理的訓練模式 (Krogh, 1996; Abbott, 1999; Adeva, Beresi, and Calvo, 2005; Chen, Cho, Dou, and Lev, 2022)。通常績效評估模型是不確定性的績效估計模式，有其對應的預測信賴區間。在複雜的績效數據集中，隨機森林分析模式在數據存在雜訊干擾下，仍能獲得較單獨機器學習模式更大的信賴區間及抗雜訊能力；(4) 為避免大規模任務指派時，運算時間呈指數型成長、執行時間過久，造成無法求解之困難，本研究以近似演算法 (Approximation Algorithms) 一二進制差分進化法 (Binary Differential Evolution, BDE)，以區域搜尋法 (Local Search) 使模型能在有限的計算時間內求得一近似解，順利執行高維度、複雜限制式。相較常見的啟發式演算法—基因演算法與粒子群演算法，差分進化算法的參數設定和流程設定除了更為簡易外，二進制問題的求解能力更是優於基因演算法 (Chen, Xie, and Zou, 2015)。

根據上述探討，本研究欲延伸既有方法論文獻，嘗試規劃機器學習績效評估模式，預測稽核人員稽核績效，並使用啟發式演算法執行稽核任務規劃模型，藉此進行內部稽核績效的精準評估與最佳化的稽核任務規劃。

三、探討稽核績效模式與模型分析構面

為了能實際執行稽核績效評估系統，本研究根據稽核研究的相關文獻，歸納出三種產業的稽核績效評估模式：通用性績效評估模式（模式 1）、積極性績效評估模式（模式 2）、整合性評估模式（模式 3）。

模式 1「通用性績效評估模式」：在這個模式中，績效評估的基本定位仍然以人力資源管理的現代績效評估方法為主，如目標管理績效評估模式、360 度績效評估模式等敘述統計方法 (Ahmed et al., 2013; Islami, Mulolli, and Mustafa, 2018)。在實際運行時，稽核人員僅遵從一般公司的人員職務輪調與相關辦法，企業亦並未針對稽核人員設計專門的績效考核辦法，皆比照公司績效考核辦法執行 (Bedard, 1989)。分析方向旨在透過多元績效指標 (Multivariate Effectiveness Measures) 評估一套個人工作績效的正式制度 (張碩毅、游勝宇與張益誠，2008)。組織更重視稽核人員的在職訓練 (In-Service Training)，透過在職期間的企業內部訓練與企業外部訓練之規劃，提升稽核人員的稽核專業。

模式 2「積極性績效評估模式」：企業設立專門的稽核人員（或單位）績效考核機制，針對各稽核部門各項稽核職務內容製作稽核人員考核表，以此為基底進行稽核人員績效之評核，主要是透過績效導向或結果導向的管理方式。如公務單位主要以平衡計分卡模式與其績效衡量構面進行稽核人員（或單位）的績效評估（黃政仁與蕭逸強，2017），非公務單位則針對稽核人員（或單位）的職務訂製量化的關鍵績效指標 (KPI)。其分析不限於敘述統計方法，亦包括統計績效評估模式及資料包絡法評估模式之建構（王儷玲、彭金隆與張義宏，2006；李貴富，2018）。績效評估著重在分析單位或個人與任務之間的效率值，以便針對員工現行績效和潛在績效進行評估。

模式 3「整合性績效評估模式」：金融業者受到主管機關的嚴格監督，通常非常重視組織內部的風險控管及資安議題。近期隨著金融科技演進，稽核體系需要更即時且系統化的培訓，金融業稽核部門目標欲從傳統的官僚機構轉變為學習性組織 (Learning Organization)，以此面對瞬息萬變的金融市場。為此，必須發展適合組織的整體績效評估架構，為多目標決策。其分析方式是整合多面向，並根據每個影響因子的重要性賦以權重，先評估如內部控制制度處理準則、公司或部門相關規範、稽核人員學歷、稽核人員專業進修課程、稽核人員資歷、稽核人員單位屬性、稽核職務資歷、稽核任務性質等構面特性，再以多目標決策模型進行分析，如此，才能進行完整的績效評估與工作調度。

綜合國內外學者對稽核變數的研究可歸納出以下原則：(1) 稽核員具備高學歷，或擁有會計師證照或內部稽核證照，或具備專業知識，對稽核績效呈現正向影響 (Cloyd, 1997；李華，2001；Francis, 2004; Wu, Huang, Huang, and Yen, 2017)；(2) 稽核任務複雜度、工作負荷量對稽核績效呈現負向影響 (Bonner, 1994; Caramanis and Lennox, 2008; Francis, 2011)；(3) 稽核員正職年資與平均查核年資越高對稽核績效呈現正向影響 (Asare and McDaniel, 1996; Bonner, 1991; Clement, Koonce, and Lopez, 2007; Lim and Tan, 2009)；(4) 稽核職務資歷的影響性大於任務複雜度時，年資高的稽核人員在任務複雜度較高的任務中，對稽核績效有增強效果 (Mohd-Sanusi and Mohd-Iskandar, 2007; Alissa, Capkun, Jeanjean, and Suca, 2014)；(5) 內稽之資訊專業經驗愈多者，對資產取得、衍生性交易、資金貸與等任務的執行績效較差 (鄭桂蕙，2017)。

參、二階段數據分析模型

一、金控稽核工作流程

在釐清研究定位之後，必須加以設計與實現。表 2 彙整金控稽核主要工作。在

流程中稽核主管有三個分析需求，分別是 (1) 在工作節點 3 和 4 時，預測稽核人員在所有工作的績效表現，進行稽核人員調度之參考；(2) 在工作節點 5 和 6 時，如何指派稽核任務，以最佳化部門查核工作規劃；(3) 在工作節點 7 和 8，如何建立金控稽核派工準則強化部門營運。

二、二階段績效評估模式

本研究以圖 1 跨行業資料探勘標準流程 (CRISP-DM) 作為執行框架 (Shearer, 2000)，規劃「二階段績效評估模型」的分析流程。

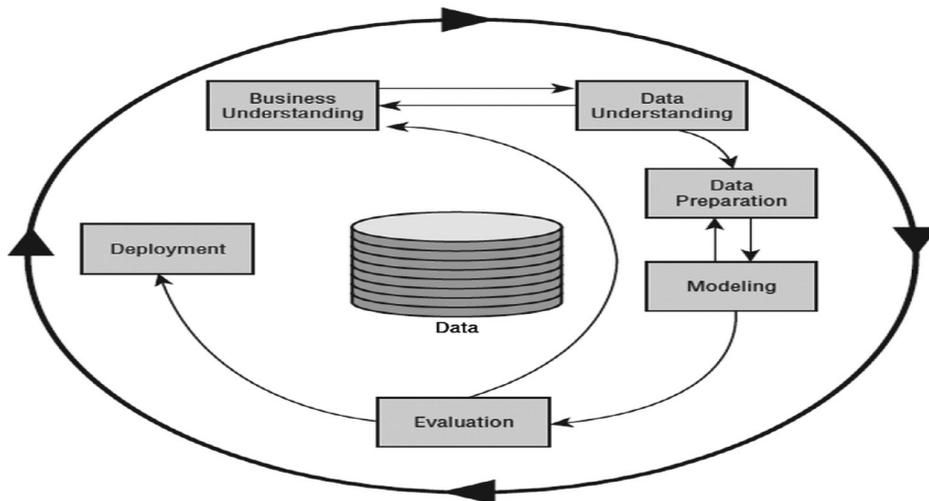


圖 1 CRISP-DM 模型執行流程

註：Shearer, C. 2000. The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining. *Journal of Data Warehousing*, 5(4): 13-22.

以下針對各流程逐一說明。

業務理解 (Business Understanding)：

Shearer (2000) 指出業務理解有幾個關鍵步驟，有助於了解領域知能 (Domain Knowledge)，這包括確定業務目標、現況評估、確定分析目標、制定專案計劃等。目前金控績效評估是根據各小組提交的稽核報告，判斷稽核人員或稽核小組單次任務的績效，確定符合內控範疇及董事會、主管機關的要求，作為評定標準。而複雜程度高的任務通常是指對主管機關的稽核報告，對公司內部董事會的報告及對各單位的自我評估報告則是較簡單的稽核報告。從績效評估流程不難得知，現況皆倚賴稽核主管過往經驗進行調度，當稽核主管知道稽核人員稽核任務績效之後，缺少將稽核績效值轉換成任務指派的機制。本研究將稽核主管的業務目標轉化為資料探勘模式，提出二階段模型執行「績效評估分析模式」與「稽核任務規劃模式」，在符

表 2 金控稽核工作流程內容

節點	工作內容	分析需求
1	選出稽核人員：符合「公開發行公司建立內部控制制度處理準則」資格稽核人員，人員名單每年要定期申報主管機關，包括每年規定之受訓時數。不符合者僅能協助撰寫工作底稿。	符合公司規範即可
2	決定查核對象：通常是公司所有單位及子公司。	
3	決定查核類型：主要是對作業部門、風險管理、財務、制度、計畫進行稽查是否有財務漏洞。	預測稽核員所有工作績效如何準確預測稽核人員不同稽核工作的表現，以決定查核項目與人員調度。
4	決定查核項目：根據董事會決議通過之年度稽核計畫，決定查核的具體項目，如：資產負債稽核、會計稽算稽核、現金出納稽核、財務收支稽核等。	
5	指派稽核任務：稽核主管(等同於副總經理職級)指派稽核人員工作，配置適任及適當人數，組成稽核小組。配合子公司業務訂定查核手冊、選樣標準及缺失分級，確保有效之查核。	最佳化所有稽核員與任務考量到人員專業、任務複雜度及稽核內規限制下，如何指派稽核任務，最佳化部門查核工作規劃。
6	查核工作規劃：稽核小組與人員制定稽核實施方案，如母公司與子公司高風險業務之判斷。	
7	查核彙整報告：(a)訂定稽核目標督導子公司擬訂執行方案；(b)內外部查核缺失，追蹤改善提報委員會；(c)涉嫌重大案件，向主管機關報告。	建立金控稽核派工準則如何發展成稽核人員派工法則，協助稽核主管任務指派與工作規劃。
8	績效評估：(a)考核結果優良，金控公司對內稽單位予以獎勵。(b)考核結果欠佳，內稽有關之缺失若有多項迄未改善，將評估總稽核適任性。	

註：本研究整理

合公司稽核相關規範的限制下，使用分析模型解決稽核績效預測與任務規劃問題，以便稽核主管準確地評估稽核人員績效表現，自動化進行稽核人力資源的佈署。

數據理解 (Data Understanding)：

本研究探討臺灣稽核績效評估模式及模型分析構面相關文獻，釐清分析模型需要蒐集與分析的重要研究變數數據。本研究收集稽核人員學歷、稽核人員專業進修課程、稽核人員資歷、稽核人員單位屬性、稽核職務資歷、稽核任務性質等數據並建立分析數據集，再為研究變數編列相關係數表進行數據探索與驗證（詳見第肆部分表 7）。

數據準備 (Data Preparation)：

本研究建置稽核單位數據前置處理之通用模式，根據數據集的數據欄位，將資料取出、轉換、載入 (Extract-Transform-Load)，將稽核人員資料與稽核任務兩種資料進行整理與合併等（即轉換），轉換成模型分析的格式。在分析之前，必須先解

決稽核績效數據資料分布不均、數據稀疏性、不確定性等資料處理問題。通常，相對於統計方法透過調節方式適應某群體的分布，資料探勘採用如增量 (boosting) 及減少 (reducing) 的方式平衡必要變數相對比例，提高訓練模型穩健度，解決無法識別少量類別變數的問題。本研究以輸入稽核數據的平衡係數（類別比例）自動平衡數據比例，迴避輸入績效資料因分布與特性不同而產生的分析誤差。

分析模型 (Modeling)：

本研究採用隨機森林方法模擬所有稽核人員在不同工作下之隨機績效值。相對於統計迴歸模型套用在所有資料空間上，隨機森林的迴歸模式，是以樹狀結構遞迴分割樣本的方式，將複雜資料空間轉換為較單純的資料子集合 (partition)。比較以下式 (1) 及式 (2)，可見到線性迴歸強調目標函數與變數函數之間的線性關係；隨機森林迴歸模式則由多棵迴歸樹分析隨機抽樣資料子集，分析各變數在建構樹過程中分枝的貢獻，集成所有迴歸樹的預測結果，在非線性與變數交互的複雜關係中，衡量各稽核研究變數對績效的解釋力。

線性迴歸（式 1）與迴歸樹（式 2）之數學式如下：

$$f(X) = \beta_0 + \sum_{j=1}^p x_j \beta_j, \text{ 其中 } x_j : \text{變數}; \beta_j : \text{迴歸係數。} \quad (1)$$

$$f(X) = \sum_{m=1}^M C_m \cdot I(x \in R_m), \text{ 其中 } R_1, \dots, R_M \text{ 代表各類別空間的分支。} \quad (2)$$

之後，將驗證資料輸入至隨機森林模式內每一棵迴歸樹中，每棵迴歸樹皆得到一個預測績效值，最終預測結果為所有樹的預測績效值之平均，表示如式 (3)。

$$\text{predict} = \text{average}(\sum_{i=1}^{N_{tree}} \text{predict}_i), \text{ 其中 } N_{tree} \text{ 代表樹總數量。} \quad (3)$$

在面對極端分散的績效數據時，隨機森林即透過拔靴 (Bootstrap) 法執行分層抽樣，再以樣本替換 (sample replacement) 方式處理量少 (undersized) 的類別變數數據，藉此提升預測穩健度 (Breiman, 2001; More, and Rana, 2017)。抽樣結束後沒被選到的訓練資料稱為袋外資料 (Out-of-Bag Data; OOB Data)，可用於對輸入因子進行重要性評估，找出高攸關影響之稽核變數。接著，結合預測值與實際值建立稽核人員工作績效矩陣後，據以建立一套績效標準評斷內稽人員在該類稽核工作的績效。在第二階段的分析中，我們透過二進制啟發式演算法執行稽核任務規劃數學模型的運算，根據稽核人員工作績效矩陣進行疊代 (Iteration) 訓練，持續將稽核績效極大化，產出最佳稽核任務規劃方案，強化企業稽核運營效率。

性能評估 (Evaluation)：

本研究使用支援向量迴歸及分類迴歸樹模型作為基準模型，以均方根誤差 (Root Mean Squared Error, RMSE) 及最大絕對誤差 (Maximum Absolute Error, MAE) 作為模

型性能評估指標，在式 (4) 及式 (5) 中，這兩項指標愈小，表示誤差愈小，即可進行隨機森林模型進行準確度預測性能評估，指標公式如下：

(1) 均方根誤差：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \hat{S}_i)^2}{n}}, \text{ 其中 } S_i: \text{觀測績效值}; \hat{S}_i: \text{預測績效值}。 \quad (4)$$

(2) 最大絕對誤差：

$$MAE = \max \{|S_i - \hat{S}_i|\}。 \quad (5)$$

接著，創建一個新的模擬資料來評估稽核任務規劃模型數學模式之性能。在使用數學模型運算前，先以模擬資料檢驗數學模型的建構邏輯是否存在矛盾，亦即透過模擬資料，可以確認數學模型運算所得的解是否符合預期。模擬資料流程如圖 2。

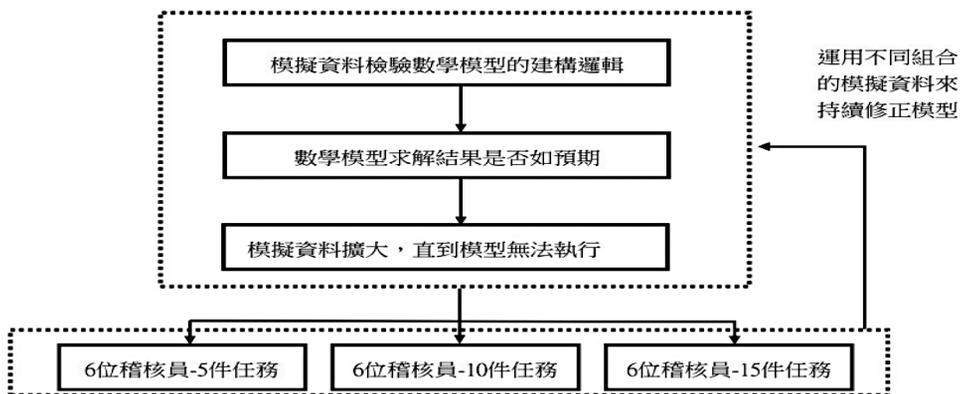


圖 2 模擬資料處理流程

註：本研究繪製

再來，本研究以整數規劃法所求的最佳解評估啟發式演算法的準確度，並以基因演算法及粒子群演算法為基準模型，評估差分進化模型準確度、執行效率等性能評估，以找出最佳任務規劃模式。

佈署 (Deployment)：

本研究整合啟發式演算法模型，建置數據處理通用流程，如資料讀取、資料處理、資料合併、變數篩選、切割訓練資料、平衡資料處理等，自動將資料轉換為最佳格式。屆時，將自適化更改數據集、重新構建或校正更新模型，在此架構下以模型性能指標評估採行當前最適用的模型演算法及最佳架構，實現分析流程自動化（見圖 3 二階段模型分析流程）。附錄一呈現分析流程程式化腳本 (Script)。

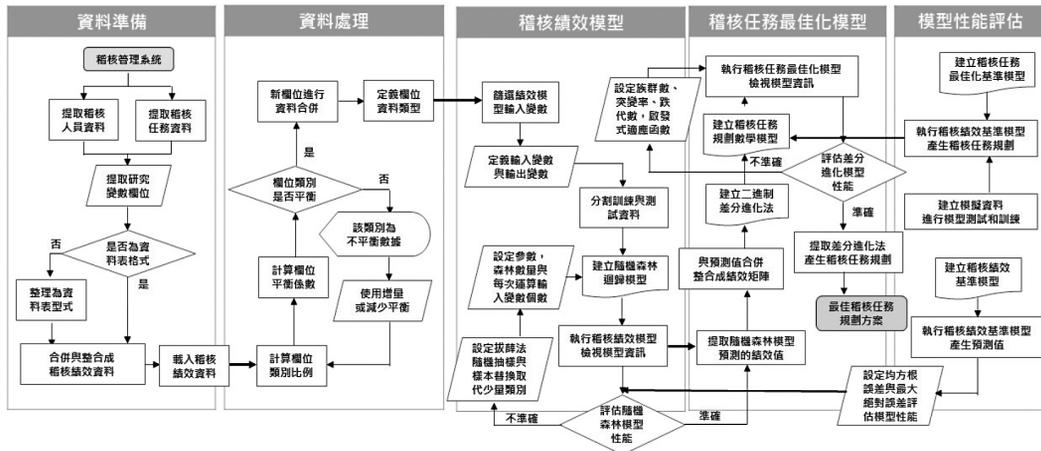


圖 3 二階段模型分析流程

註：本研究繪製

三、稽核任務規劃數學模型

本研究根據稽核工作建構數學模型，以下為邏輯陳述與數學模型：

決策變數：共 j 個工作項目、 i 個內部稽核人員。 X_{ij} 為決策變數，表第 i 位稽核員是否被指派第 j 個任務，僅可為 0 或 1。

多目標式：為每位稽核員績效最大化，加入影響績效變數：專業課程構面 (CL_i)、稽核員職務資歷 (Y_i)、金融背景 (MJ)、任務複雜度 (C_{1j} 、 C_{2j} 、 C_{3j})。

稽核時間限制：稽核人員必須在查核時間內完成所有任務。

稽核任務公平限制：不同複雜等級的任務必須均勻分配給稽核人員。

稽核小組編制規定：一個稽核任務必須由 3 個稽核人員組成。

稽核小組資歷限制：小組至少一位資深稽核人員，追蹤進度與報告彙整。

$$Max \sum_i \sum_j L_{ij} X_{ij} + \sum_i \sum_j X_{ij} \frac{1}{C_j} CL_i + \sum_i \sum_j X_{ij} \frac{1}{C_j} Y_i + \sum_i \sum_j X_{ij} \frac{1}{C_j} MJ_i \quad (6)$$

$$s.t. \sum_j D_j X_{ij} \leq a_i \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (7)$$

$$l(1) \leq \sum_j C_{1j} X_{ij} \leq u(1) \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (8)$$

$$l(2) \leq \sum_j C_{2j} X_{ij} \leq u(2) \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (9)$$

$$l(3) \leq \sum_j C_{3j} X_{ij} \leq u(3) \quad i = 1, 2, \dots, I \quad , \quad (10)$$

$$\sum_i X_{ij} = 3 \quad j = 1, 2, \dots, J \quad , \quad (11)$$

$$\sum_i X_{ij} Y_{i1} \leq 2 \quad i = 1, 2, \dots, I \quad , \quad (12)$$

$$\sum_i X_{ij} Y_{i2} \leq 2 \quad i = 1, 2, \dots, I \quad , \quad (13)$$

$$\sum_i X_{ij} Y_{i3} \leq 2 \quad i = 1, 2, \dots, I \quad , \quad (14)$$

$$X_{ij} = 1 \quad \text{if auditor}(i) \text{ assign project}(j) \quad ,$$

$$X_{ij} = 0 \quad \text{otherwise} \quad .$$

多目標式：目標式 (6) 為稽核績效值總和，所求公式為 X_{ij} 乘以 L_{ij} ，再分別 X_{ij} 乘上 CL_i 、 Y_i 、 MJ_i 與 C_j 。目標式會優先將 CL_i （相關專業課程）及 Y_i （職務資歷）數值較高且具有 MJ_i （金融背景）的稽核員分配到 C_j （複雜度類別）數值較低任務。

限制式：限制式 (7) 為稽核人員之總工作天數，其所求公式為 d_j 乘上 X_{ij} ，總工作天數的最大值不能超過 a_i 天；限制式 (8)、(9)、(10) 為稽核人員持有之各種複雜度任務的數量，所求公式為 C_j 乘 X_{ij} 上，各類複雜度的任務數量最小值不能低於 $l(1)$ 、 $l(2)$ 、 $l(3)$ 件，最大值不能高於 $u(1)$ 、 $u(2)$ 、 $u(3)$ 件任務；限制式 (11) 為 1 件任務必須由 3 位稽核人員組成稽核小組執行，所求公式為 X_{ij} 之總和為 3；限制式 (12)、(13)、(14) 的設定為相同內部稽核職務資歷的稽核人員總和，所求公式為 X_{ij} 乘上 Y_i ，相同內部稽核職務資歷的稽核人員至多 2 人。值得一提的是，在規劃數學模型時，由於 1 件任務必須由 3 位稽核員執行，限制式 (12)、(13)、(14) 能使稽核小組同時有稽核職務資深與資歷淺的稽核人員存在，如此，可使小組內的資深稽核人員帶領資淺稽核人員執行稽核任務與撰寫查核報告。在實務上執行時，既能順利達成稽核任務，又同時達到人員訓練目的。

茲將上述數學符號與其涵義整理如表 4。

表 4 數學符號涵義

數學符號	數學涵義
i	第 1、2、…… n 位稽核人員
j	第 1、2、…… m 個任務
C	第 1、2、…… k 類複雜工作
D	第 1、2、…… d 工作天數
L_{ij}	第 i 位稽核人員在第 j 個稽核任務的轉換工作績效
CL_i	第 i 位稽核人員的專業課程培訓時數
Y_i	第 i 位稽核人員的內部稽核職務資歷
MJ_i	MJ_i 為 1 或 0。第 i 位稽核人員是否有金融背景
$l(1)$	表示複雜度第 1 類別的上界任務數
$l(2)$	表示複雜度第 2 類別的上界任務數
$l(3)$	表示複雜度第 3 類別的上界任務數
$u(1)$	表示複雜度第 1 類別的下界任務數
$u(2)$	表示複雜度第 2 類別的下界任務數
$u(3)$	表示複雜度第 3 類別的下界任務數
C_{1j}	第 j 個任務屬於第 1 級工作複雜度
C_{2j}	第 j 個任務屬於第 2 級工作複雜度
C_{3j}	第 j 個任務屬於第 3 等級工作複雜度
D_i	第 i 位稽核人員被指派任務的工作天數
a_i	第 i 位稽核人員被指派任務的最大工作天數
X_{ij}	為 1 或 0。第 i 位稽核人員是否被指派第 j 個任務，此為決策變數

註：本研究整理

四、數學模型之適應函數

為強化適應函數與本命題之專屬學域 (Domain) 意涵連結，本研究根據稽核部門對限制條件的評比，計算限制條件或限制式與適應函數之間的關係程度，作為目標函數的懲罰因子 (Penalty Term)。包括確定稽核部門必須遵守的硬限制條件（一定要遵守），如：稽核小組由 3 人組成，是稽核部門應遵守的企業規範。軟限制條件（不一定要遵守）則為是否完成受訓單位的專業課程訓練（初任稽核人員須受訓三天 18 小時）與不同複雜度稽核任務的查核結果彙整。適應函數（或懲罰函數）計算出的適應值，會與目標函數計算的總績效值一致。並在疊代訓練時，適應函數為了收斂到最佳解，將直接淘汰不遵從限制條件的解向量。以常見的二元條件式確保軟限制條件，遵從限制條件 (7) 式適應函數扣除 0，若不遵從限制條件 (7) 式適應函數扣除 10^7 ；完全平方法用於確保硬限制條件，等式限制條件 (11) 式將右式的 3 移項後，以完全平方法計算後再乘以 10^5 。為避免適應函數扣除極大值，必須強迫限制式 (11) 為 0。適應函數的公式整理如 (15)：

$$\begin{aligned}
 \text{Fitness} = & \sum_i L_i X_i + \sum_i \frac{1}{C_i} CL_i X_i + \sum_i \frac{1}{C_i} Y_i X_i + \sum_i \frac{1}{C_i} MJ_i X_i - 10^5 \left(\sum_i X_i - 3 \right)^2 \\
 & - C_1(X) - C_2(X) - C_3(X) - C_4(X) - C_5(X) - C_6(X) - C_7(X) \circ \quad (15)
 \end{aligned}$$

$$\text{其中 } C_1(X) \text{ 為 } \begin{cases} \sum_i d_i X_i \leq a, \text{ 則 } C_1(X) \text{ 為 } 0 \\ \text{otherwise, 則 } C_1(X) \text{ 為 } 1000 \end{cases},$$

$$\text{其中 } C_2(X) \text{ 為 } \begin{cases} l(1) \leq \sum_i c_{1i} X_i \leq u(1), \text{ 則 } C_2(X) \text{ 為 } 0 \\ \text{otherwise, 則 } C_2(X) \text{ 為 } 1000 \end{cases},$$

$$\text{其中 } C_3(X) \text{ 為 } \begin{cases} l(2) \leq \sum_i c_{2i} X_i \leq u(2), \text{ 則 } C_3(X) \text{ 為 } 0 \\ \text{otherwise, 則 } C_3(X) \text{ 為 } 1000 \end{cases},$$

$$\text{其中 } C_4(X) \text{ 為 } \begin{cases} l(3) \leq \sum_i c_{3i} X_i \leq u(3), \text{ 則 } C_4(X) \text{ 為 } 0 \\ \text{otherwise, 則 } C_4(X) \text{ 為 } 1000 \end{cases},$$

$$\text{其中 } C_5(X) \text{ 為 } \begin{cases} \sum_i X_i Y_{1i} \leq 2, \text{ 則 } C_5(X) \text{ 為 } 0 \\ \text{otherwise, 則 } C_5(X) \text{ 為 } 500 \end{cases},$$

$$\text{其中 } C_6(X) \text{ 為 } \begin{cases} \sum_i X_i Y_{2i} \leq 2, \text{ 則 } C_6(X) \text{ 為 } 0 \\ \text{otherwise, 則 } C_6(X) \text{ 為 } 500 \end{cases},$$

$$\text{其中 } C_7(X) \text{ 為 } \begin{cases} \sum_i X_i Y_{3i} \leq 2, \text{ 則 } C_7(X) \text{ 為 } 0 \\ \text{otherwise, 則 } C_7(X) \text{ 為 } 500 \end{cases} \circ$$

肆、研究結果

一、資料描述

本研究以某金控提供的民國 105 年至 107 年間之內部稽核資料，作為二階段模型的概念實證研究數據來源。資料表示如圖 4 稽核任務分布，表 5 稽核人員與任務資料。

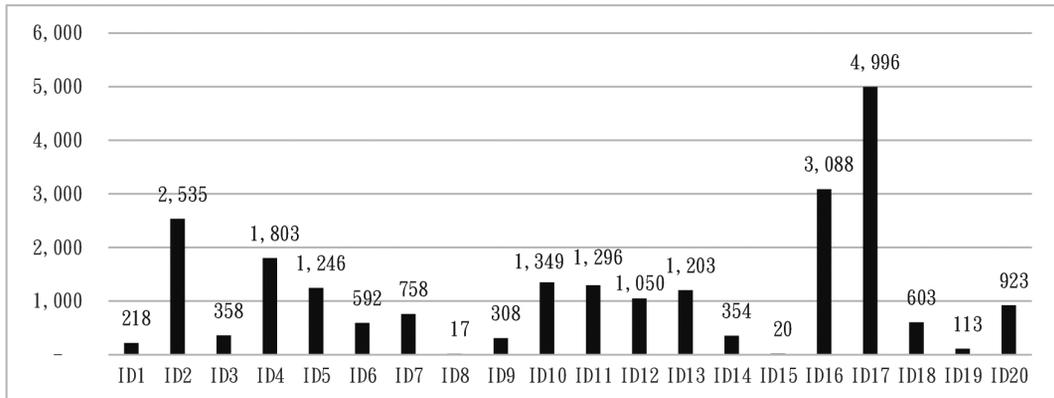


圖 4 稽核任務分佈圖

註：稽核人員與稽核任務資料

表 5 稽核人員基本資料（部分）

查核人員	金融專業背景	銀行年資	企金授信	進出口外匯	資訊安全
ID1	1	17	0	0	0
ID2	1	22	0	0	0
ID3	1	12	0	0	0
ID4	1	1	0	0	0

查核人員	工作 ID	任務複雜度	該次工作天數	稽核工作績效值
ID13	1	6.63	7	0.179556
ID10	2	6.63	6	0.028751
ID6	3	3.25	5	0.520413
ID6	4	3.25	5	0.612863
ID6	5	8.88	8	1.018804

註：稽核人員與金控稽核任務資料

如表 6 敘述統計，資料欄位為稽核人員代號、科系是否為銀行相關、銀行年資、稽核年資，及會計業務、企金授信、財務投資、進出口外匯、內控內稽、資訊安全、風險管理、財富管理等八個專業課程的授課時數；稽核任務資料為任務編號核任務複雜度、該次查核天數及稽核工作績效值。研究變數相關係數如表 7。

績效評估模型反應變數 (Response Variable) 為稽核績效值，解釋變數：科系是否為銀行相關、銀行年資、稽核年資、會計業務、企金授信、財務投資、進出口外匯、內控內稽、資訊安全、風險管理、財富管理、任務複雜度、查核天數，共 13 個變數。第二階段以任務規劃模型進行績效任務最佳化指派。任務規劃模型的決策變數為 X_{ij} （第 i 位稽核人員是否被指派第 j 個任務）、相關專業課程 CL （會計業務、企金授信、

表 6 敘述統計分析結果

	變數	單位	平均數	標準差	極大值	極小值
稽核人員專業	銀行年資	年	18.08	6.88	26	1
	稽核年資	年	4.70	3.30	12	0
	企金授信	時數	5.92	4.04	24	0
	進出口外匯	時數	7.02	5.93	25	0
	資訊安全	時數	1.51	0.44	7	0
	會計業務	時數	17.09	14.21	27	10
	財務投資	時數	6.97	4.59	18	0
	內控內稽	時數	19.39	4.09	28	13
	風險管理	時數	7.93	4.49	16	2
	財富管理	時數	4.89	1.35	7	3
	科系為銀行相關	是 / 否	-	-	-	-
查核資料	任務複雜度	值	6.08	2.06	10	1
	該次查核天數	天	5.54	1.69	9	1
稽核績效	工作績效值	值	12.86	23.84	138	0.02

註：稽核人員與稽核任務資料；稽核人員資料共 20 筆，查核資料和稽核績效資料筆數共 22,830 筆

財務投資、進出口外匯等)、稽核職務資歷 Y (銀行年資、稽核年資)、金融背景 MJ (是否為銀行相關)、任務複雜度類別 C 、查核天數 D 、稽核績效值 L_{ij} 。

二、績效評估模型性能比較結果

表 8 為比較基準模型性能的結果，經不同訓練 / 測試資料驗證後，與 SVR 模型和 CART 模型相比，RF 模型的性能整體更出色。以訓練數據比例 80% 為例，與 SVR 模型相比，RF 模型的 $RMSE$ 約為 1.41，SVR 模型的 $RMSE$ 約為 1.56，RF 模型比 SVR 模型的 $RMSE$ 減少 0.15；CART 模型的 $RMSE$ 約為 1.50，RF 模型比 CART 模型的 $RMSE$ 減少 0.09。隨機森林預測準確能力比支援向量迴歸及分類迴歸樹更加出色。

鑒於這些演算法會因為每次餵入的資料分布與特性不同，可能導致模型性能優劣情勢互換；本研究以指標評估模型效能，即時選擇效能最佳的演算法，進而精準地評估稽核績效值，如此在不同的績效資料樣式及資料分布所預測的稽核工作績效值確實足以採信。為避免變數之間的相關性，本研究採用隨機排序檢驗 (Permutation Test) 來找出重要變數。將這些攸關影響之關鍵稽核變數轉換成多目標方程式，若對任務規劃模型求解的績效值有顯著影響，稽核主管便能將這些內稽變數作為改善員工效率的依據，以此優化企業的稽核工作。關鍵稽核變數可參考表 9 所示列隨機森林篩選出之重要變數。

表 7 研究變數相關係數表

Spearman/ Pearson	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]
銀行年資 [1]	1.00	0.80	0.09	0.06	0.05	0.23	-0.32	0.18	-0.08	-0.39	-0.03	-0.24	0.19
稽核年資 [2]	0.80	1.00	0.03	-0.15	-0.11	0.30	-0.35	0.33	0.05	-0.24	-0.03	-0.21	0.20
企金授信 [3]	0.09	0.03	1.00	-0.16	-0.2	0.59	-0.33	-0.18	-0.26	0.29	-0.07	-0.17	0.56
進出口外 匯 [4]	0.06	-0.15	-0.16	1.00	0.5	-0.17	0.15	-0.16	0.06	0.2	0.03	-0.05	-0.18
資訊安全 [5]	0.05	-0.11	-0.20	0.5	1.00	-0.28	-0.25	-0.19	0.43	0.2	0.04	0.03	-0.10
會計業務 [6]	0.23	0.30	0.59	-0.17	-0.28	1.00	-0.32	-0.04	0.03	0.33	-0.05	-0.29	0.33
財務投資 [7]	-0.32	-0.35	-0.33	0.15	-0.25	-0.32	1.00	0.12	-0.27	-0.1	-0.04	0.06	-0.10
內控內稽 [8]	0.18	0.33	-0.18	-0.16	-0.19	-0.04	0.12	1.00	-0.21	0.25	-0.02	0.19	0.10
風險管理 [9]	-0.08	0.05	-0.26	0.06	0.43	0.03	-0.27	-0.21	1.00	0.02	0.03	-0.03	-0.18
財富管理 [10]	-0.39	-0.24	0.29	0.20	0.20	0.33	-0.10	0.25	0.02	1.00	0.00	0.12	0.08
任務複雜 度 [11]	-0.03	-0.03	-0.07	0.03	0.04	-0.05	-0.04	-0.02	0.03	0.00	1.00	0.74	-0.20
該次查核 天數 [12]	-0.24	-0.21	-0.17	-0.05	0.03	-0.29	0.06	0.19	-0.03	0.12	0.74	1.00	-0.18
工作績效 值 [13]	0.19	0.20	0.56	-0.18	-0.10	0.33	-0.10	0.10	-0.18	0.08	-0.20	-0.18	1.00

註：金控稽核人員與稽核任務資料；資料筆數共 22,830 筆

三、整數規劃法模擬資料求解結果

在第二階段分析稽核任務規劃中，為使求解結果具有管理意涵，我們同時推論出幾種派工法則 (Dispatching Rules)。表 10 所求績效矩陣具備不同特性的稽核員與任務，其中被指派複雜程度 (C) 較高的稽核人員，其查核天數 (D) 增加、稽核績效值 (L_{ij}) 下降。內部稽核職務資歷 (Y)、相關專業課程 (CL) 與金融背景 (MJ) 較高的稽核人員，其績效值 (L_{ij}) 優於其他稽核員。而當任務編號 1 被分配給稽核人員 1 和稽核人員 2 時，有金融背景 (MJ) 的稽核人員 2，其稽核工作績效 (L_{ij}) 較無金融背景 (MJ) 的稽核人員 1 高；任務編號 1 被分配給稽核人員 1 和稽核人員 3 時，內部稽核職務資歷 (Y) 較高的稽核人員 3，其稽核工作績效 (L_{ij}) 較內部稽核職務資歷 (Y) 較低

表 8 績效評估基準模型比較結果

訓練數據比例	模型	RMSE	MAE
60	RF	1.39	9502
	SVR	1.55	10888
	CART	1.47	9815
70	RF	1.39	7083
	SVR	1.55	8142
	CART	1.48	7346
80	RF	1.41	4794
	SVR	1.56	5431
	CART	1.50	4919
90	RF	1.43	2461
	SVR	1.58	2798
	CART	1.50	2529

註：本研究整理

表 9 隨機森林篩選出之重要變數

重要性排序	重要攸關影響之稽核變數名稱
一	銀行年資
二	該次查核天數
三	企金授信
四	稽核任務複雜度
五	科系是否為銀行相關
六	進出口外匯
七	稽核年資
八	會計業務
九	資訊安全
十	內控內稽

註：本研究整理

的稽核人員 1 高；任務規劃結果在不同的人員數與任務數組合下，與模擬資料設定的分派邏輯一致。

四、整數規劃法真實資料求解結果

如表 11，多目標式模式求整體最大稽核績效會優先指派擁有相關專業課程 (CL) 的稽核人員。表 11 的結果也顯示以下規則：年資 1 較資淺、且沒有相關背景 (MJ) 的「編號 1 查核人員」被分配到複雜度 1 較簡單的稽核任務 8 件、複雜度 2 中等稽

表 10 模擬資料與目標值 (部分資料)

人員數 / 任務數 ij	稽核人員 i	任務編號 j	職務資歷 (Y)	專業課程 (CL)	金融背景 (MJ)	複雜程度 (C)	查核天數 (D)	稽核績效 (L_{ij})	整體績效
6/5	1	1	1	1	0	1	5	15	404
	2	1	1	1	1	1	5	25	
	3	1	2	2	0	1	5	35	
	4	1	2	2	1	1	5	45	
	5	1	3	3	0	1	5	55	
	6	1	3	3	1	1	5	55	
	1	2	1	1	0	2	7	10	
	2	2	1	1	1	2	7	20	
	3	2	2	2	0	2	7	30	
	4	2	2	2	1	2	7	40	
6/10	1	1	1	1	0	1	5	15	920
	2	1	1	1	1	1	5	25	
	3	1	2	2	0	1	5	35	
	4	1	2	2	1	1	5	45	
	5	1	3	3	0	1	5	55	
	6	1	3	3	1	1	5	55	
	1	2	1	1	0	1	5	15	
	2	2	1	1	1	1	5	25	
	3	2	2	2	0	1	5	35	
	4	2	2	2	1	1	5	45	
6/15	1	1	1	1	0	1	5	15	1552
	2	1	1	1	1	1	5	25	
	3	1	2	2	0	1	5	35	
	4	1	2	2	1	1	5	45	
	5	1	3	3	0	1	5	55	
	6	1	3	3	1	1	5	55	
	1	2	1	1	0	1	5	15	
	2	2	1	1	1	1	5	25	
	3	2	2	2	0	1	5	35	
	4	2	2	2	1	1	5	45	

註：本研究整理

核任務 2 件、複雜度 3 較困難稽核任務 1 件；年資 1 較資淺、有金融相關背景 (MJ) 的「編號 2 查核人員」被分配到複雜度 1 較簡單的稽核任務 7 件、複雜度 2 中等的稽核任務 7 件、複雜度 3 較困難的稽核任務 2 件；年資 2 較資深、有相關專業課程 (CL) 及相關金融背景 (MJ) 的「編號 3 查核人員」則被分配到複雜度 1 較簡單的稽核任務 8 件、複雜度 2 中等的稽核任務 7 件、複雜度 3 的稽核任務 3 件。

表 11 整數規劃法劃任務規劃結果（部分）

稽核員 編號	相關專業 課程	資歷 類別	金融 背景	複雜度 1	複雜度 2	複雜度 3	總工作 天數	總績 效值
1	0	1	0	8	2	1	63	134
2	0	1	1	7	7	2	102	219
3	7	2	1	8	7	3	116	269
4	7	2	1	8	7	3	116	269
5	0	1	0	6	2	1	53	111
6	24	1	1	8	5	5	120	256

五、啟發式演算求解結果

受限於複雜模型及電腦硬體空間不足，金控在實際執行大型專案時，前述整數規劃法在處理 6 位稽核員與 30 件任務的模擬資料時，執行時間過久，在執行 20 位稽核員與 2,000 件任務時，分析軟體甚至當機無法執行（顯示 ” The Model Generator Ran out of Memory ” ），因此本研究在實務上，以啟發式演算法求解。表 12 列出基因演算法 (GA)、二進制粒子演算法 (BPSO)、二進制差分進化法 (BDE) 三種啟發式模型執行模擬資料與真實資料反覆測試的分析結果，以及實際執行大型專案的求解結果。

由驗證結果得知，在模型穩定度方面，稽核指派問題的維度越高，GA 模型與 BPSO 模型的誤差值越高，模型準確率下降；而 BDE 模型誤差未明顯上升，模型準確率也未明顯下降。由變異與收斂狀況得知，BDE 模型的適應值最穩定，其次依序為 BPSO 模型及 GA 模型。在模型之誤差值及平均準確率方面，BDE 模型的準確率最高。因此以準確率的穩定度、收斂局部解的時間、平均準確率三個指標評估稽核任務規劃模型，BDE 模型的性能比另外兩個模型更加出色。最後，實際執行 6 位稽核員 30 件任務與 20 位稽核員 2,000 件任務等高維規劃問題時，BDE 模型皆能順利執行與求解。BDE 模型可取代整數規劃法 (IP) 求解稽核真實資料之最佳解或次佳解。且考量到企業分析自動化，二進制差分進化方法作為實地執行任務規劃的執行方法，參數設定和流程設定更為簡易。附錄二呈現三種啟發式模型參數與結果。

六、稽核派工法則

本研究針對金融業常見的績效管理方式，即積極性績效評估模式 (模式 2) 與整合性績效評估模式 (模式 3) ，分為兩類目標比較。目標 1：模式 2 的稽核部門主要以結果導向管理 (Managing for Results) 方式，極大化稽核績效 ($\sum_i \sum_j L_{ij} X_{ij}$) 為組織目標；目標 2：模式 3 稽核部門欲以組織學習 (Organizational Learning) 方式建

表 12 三種啟發式模型之結果

模型	人員數 / 任務數	變異數	最大適應值	收斂時間 (秒)	準確率	誤差值
GA	6/5	26448219	393	3	96%	10
	6/10	28334912	887	8	92%	33
	6/15	2824	1430	6	89%	122
	平均值	-	903	6	92%	56
BPSO	6/5	9968684	404	12	100%	0
	6/10	17827292	837	19	89%	83
	6/15	5168	1460	186	89%	60
	平均值	-	900	72	93%	48
BDE	6/5	312	404	6	100%	0
	6/10	827	877	13	90%	43
	6/15	3409	1460	35	96%	62
	平均值	-	914	18	95%	34
BDE 大型指派	6/30	-	1270	72	-	-
	20/2000	-	474939694	403	-	-

註：本研究整理

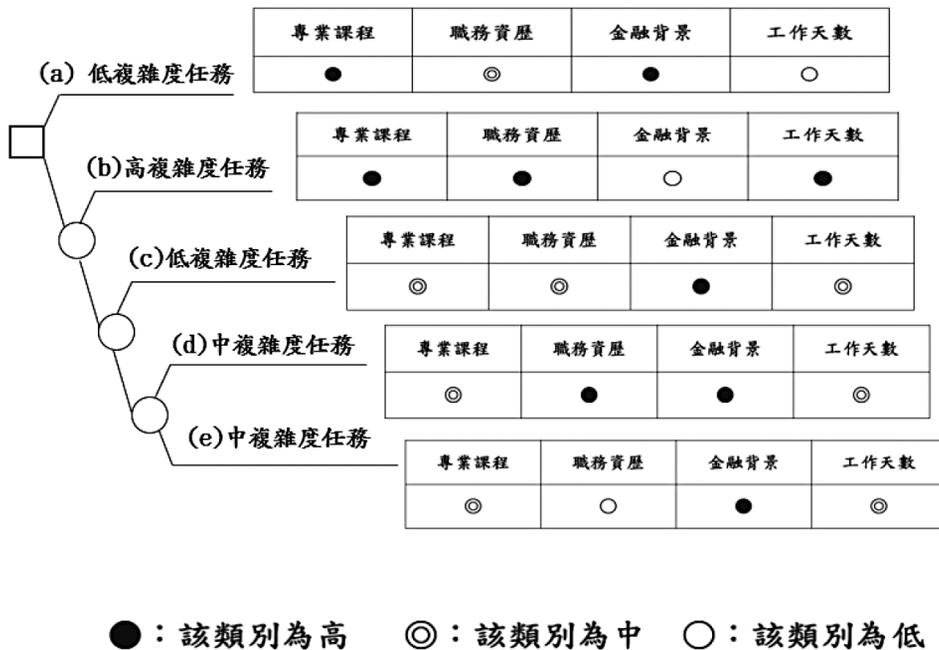


圖 5 稽核派工法則圖

註：本研究整理

立持續性學習，提升組織長期的績效 (Roussy, Barbe , and Raimbault, 2020; Gimba, Jenkins, Saucedo, and Wright, 2018; Pace, 2002)。組織目標追求績效極大化($\sum_i \sum_j L_{ij} X_{ij}$)之外，還同時推動稽核師徒制 (Audit Apprenticeship) 和強化部門專業技能訓練 ($\sum_i \sum_j X_{ij} \frac{1}{C_j} CL_i + \sum_i \sum_j X_{ij} \frac{1}{C_j} Y_i + \sum_i \sum_j X_{ij} \frac{1}{C_j} MJ_i$)，分配適合的任務給稽核員，為一多目標方程式。

本研究發現，相較於目標 1 單目標模型，目標 2 模型 (多目標) 會先考慮高績效的稽核組合，通過整體模式分析找出提升較多績效值的稽核變數，以稽核變數之間影響效果的高低進行稽核任務指派，最大限度地轉化稽核績效值。如高稽核職務資歷與高專業證照授課時數的稽核人員，被分派到複雜度等級低的稽核任務，透過限制稽核小組裡三人的職務年資 ($\sum_i X_{ij} Y_{i1} \leq 2, \sum_i X_{ij} Y_{i2} \leq 2, \sum_i X_{ij} Y_{i3} \leq 2$)，使稽核小組同時有稽核職務資深與資歷淺的稽核人員存在，有助於促進資深人員帶領資淺人員成長。派工方式顯示稽核經驗、專業知識與任務複雜度的確會影響稽核績效和稽核工作指派，這項結果也與既有研究結果相呼應 (Asare and McDaniel, 1996; Tan, Ng, and Mak, 2002; Alissa et al., 2014)。

機器學習方法可以增進稽核任務規劃模型分析關鍵因素的能力，並了解在不同複雜程度的任務下，哪些稽核專業或背景的人員組合能夠達成最佳績效。經模型逐步實測，在任務規劃模型求解稽核員與任務數增加至一定數量時，瞭解分析模型對稽核任務指派次序，可歸納出如圖 5 的稽核派工法則。如此，稽核主管未來便可依循稽核派工法則進行稽核任務規劃，形成具一定次序的決策流程。如：優先安排職務資歷中具專業培訓經歷的稽核人員至低複雜任務（通常是對各單位的自我評估報告），再排資歷深且具專業培訓經歷與金融背景的人員至高複雜任務（指對主管機關的稽核報告）。

伍、結論

本研究以實地應用金控稽核為研究主軸，先探討績效評估方法論以及稽核績效評估模式文獻，歸納出三種稽核績效評估模式；再整合機器學習方法和整數規劃方法，建置二階段稽核績效評估模式，使金融業能以現有的稽核工作流程為基礎，自動化產生完整的稽核數據求解最佳的稽核部門績效值，在不同資料限制下找出最佳的人員指派方式。演算架構也將自適化更改數據集，重新構建或校正更新，根據模型性能自動採行當前最適用的模型演算法與最佳化架構。

為了有效執行運算，產生具穩健性及隨機性的預測結果，本研究混合隨機森林和二進制差分進化技術有效執行運算，並確認隨機森林在執行迴歸問題時較為準確與穩健 (Breiman, 2001; Strobl, Malley, and Tutz, 2009)。在稽核專案實地執行中，以啟發式演算法跳脫全域最佳解的特性，尋求一區域可行解。我們也確認，相較整數

規劃法在求解小型任務指派問題時會有執行時間過長之情況，啟發式演算模型較能順利運作，分析模型參數設定和流程設定更為簡易，利於企業決策支援模式之建置。

在管理意涵方面，近期相關會計研究指出，人才與任務配對是企業價值提升的關鍵因素 (Balakrishnan, Lin, and Sivaramakrishnan, 2020)。前述圖 5 所示稽核派工法則可清楚呈現稽核變數之間，因影響效果不同所產生的稽核績效差異；稽核主管也較容易理解派工規則，使有價值的資訊成為可執行的方案，並同時促進組織學習文化推進。

在研究限制方面，首先本研究雖提出平衡機制，解決因輸入資料分布不同導致模型精準度不同的問題；但稽核績效資料有時間遷移的特性，稽核工作歷程或有影響後續稽核績效的可能性，是以模型應具備處理序列數據的能力，以建構更完整的稽核分析模式，後續可參考如排班模型、遞歸網路 (Recurrent Neural Network, RNN)、長短期記憶 (Long Short-Term Memory, LSTM) 等時序數據之相關模型研究 (Ulmer, Thomas, Campbell, and Woyak, 2021; Dahmen, Rekik, Soumis, and Desaulniers, 2020; Hochreiter and Schmidhuber, 1997)，進一步以深度學習模型分析稽核數據，提取序列數據中的長期依存關係以改善績效評估模型的預測精準度。

其次，在研究變數的選定，本研究在評估稽核工作時，僅根據難易度及查核天數來分派任務給稽核人員，缺少稽核任務性質描述、法規任務 (Chychyla, Leone, and Minutti-Meza, 2019)、稽核單位規模、溝通方式、團隊文化、個人特質 (Francis and Yu, 2009; Proell, Zhou, and Nelson, 2022; Blum, Hatfield, and Houston, 2022)、稽核獨立性、查核意見等構面的評估 (李建然、陳信吉與蔡宗益, 2020; 薛敏正、葉淑玲與陳靜宜, 2021)，模式分析構面並不完整。此外，參數變化未明顯影響模型結果，本研究的分析流程未考慮參數自適化機制，未來可繼續探討自適應參數，進一步建構更完備的模型，使實務上的評估更臻完善。

An Integrated Data-Drive Methodology for Auditor Performance Appraisals and Auditor Assignment Optimization

Tzu-Chien Wang, Department of Business Administration, National Taiwan University

1. Purpose/Objective

With the expansion of related business groups and the impact of digitization on financial industry in Taiwan, in recent years, financial holding companies often fail in internal supervision and management due to problems of scheduling auditing-staff. Although enterprises and corporate management organizations generally believe that the large amount of data collected from the performance management system may have great practical value for the audit departments, most of the existing studies only focus on verifying the relevance between auditing performance and variables. Conversely, our study emphasizes on the field application of financial control audit. Summarizing from previously established models of audit performance evaluation, we discuss and further establish the most optimal performance assessment model using machine learning regression. Once identify some key factors, we use an integer planning method to construct an optimal auditor assignment model to assist financial holding companies in analyzing the existing audit workload and provide a better audit assignment mechanism to facilitate human resource decisions.

2. Design/Methodology/Approach

To accurately estimate the audit performance of different auditors under different tasks and to understand the best personnel assignment approach under different data constraints, using audit data of financial holding companies in Taiwan, we integrate the random forest technology and heuristic algorithm to construct an analysis model, which could apply to evaluate the audit performance of internal auditors and optimally assign audit tasks according to the required performance value.

Since these companies do not provide all the performance data of the assigned personnel, to generate complete audit data for the assignment planning of senior

supervisors, this study proposes an integrated two-stage data analysis model. First, we apply random forest and machine learning regression technology to accurately estimate and simulate the audit performance of all auditors under different tasks to predict all values. In the second stage, based on the predicted values of auditors' performance, we optimize task assignment by heuristic algorithms to avoid the infeasibility of integer planning method in solving high-dimensional problems. The outcome shows that in terms of the effectiveness, speed, and stability of assignment, Binary Differential Evolution (BDE) performs better than Genetic Algorithm (GA) and Binary Particle Swarm Optimization (BPSO). Therefore, we recommend BDE algorithm for auditor assignment, as the results have well demonstrated its far-better effectiveness of the heuristic approach when compared with the conventional methods.

3. Findings

This study aims to compare two objectives from an active performance evaluation model and an integrated performance evaluation model. Objective one: the auditing department primarily concerns results (that is, result-oriented), with its organizational goal to maximize the audit performance (). Objective two: The auditing department adopts organizational learning to establish a continuous learning mode among auditors to improve long-term performance (Roussy, Barbe, and Raimbault, 2020; Gimba, Jenkins, Saucedo, and Wright, 2018; Pace, 2002). In addition to maximizing performance by organizational goals (), it promotes Audit Apprenticeship, strengthens departmental professional skills training, and assigns appropriate tasks to auditors, which is a multi-objective equation .

The results indicate that this method could prioritize important characteristics that affected the performance of auditors; compared with the single-objective model, the multi-objective model will first consider the high-performance audit portfolio, find out the audit variables that improve the performance value through the overall model analysis, and carry out the audit task according to the level of influence between the audit variables—assignments to maximize conversion of audit performance values. For example, auditors with high audit qualifications and

high professional license teaching hours are assigned to audit tasks with low levels of complexity. Limiting the seniority of three people in the audit team allows the team to have senior and junior auditors simultaneously (,). The existence of auditors helps promote senior personnel's growth, leading to junior personnel's development. Assignment methods show that audit experience, expertise, and task complexity affect audit performance and assignments, which is a finding that echoes current research findings (Asare and McDaniel, 1996; Tan, Ng, and Mak, 2002; Alissa et al., 2014).

Machine learning methods can improve the ability of audit-task scheduling model in order to analyze critical factors and understand which combinations of audit specialties or backgrounds perform best on tasks of varying complexity. When the number of auditors and tasks solved increases to a certain number, the order of assignment of auditing tasks could be summarized as dispatching rules. Thus, in the future, audit supervisors will be able to follow the audit dispatch rules for task assignment, and the encouragement of learning in organization will also have a positive effect. For example, priority should be given to assigning auditors with professional training experience in their job qualifications to the least complex tasks, and then assigning senior personnel with professional training experience and financial background to the most complex tasks.

4. Research Limitations/Implications

In terms of research limitations, although this study proposes a balance mechanism based on further distribution of input data, the audit performance data has the characteristics of time migration. Also, the audit work process may affect the subsequent audit performance. Therefore, an ideal model should be able to process sequence data and construct a complete audit analysis model. Follow-up can refer to the work shift scheduling model, Recurrent Neural Network (RNN), Long Short-Term Memory (LSTM), and other related models of time series data (Ulmer, Thomas, Campbell, and Woyak, 2021; Dahmen, Rekik, Soumis, and Desaulniers, 2020; Hochreiter and Schmidhuber, 1997), and the audit data is further analyzed with a deep learning model, and long-term dependencies in the sequence data are extracted to improve the prediction accuracy of the performance evaluation model.

In terms of research variables, this study assesses auditors' tasks based on difficulty and number of days required, thus it lacks descriptions of the nature of auditing tasks, regulatory tasks (Chychyla, Leone, and Minutti-Meza, 2019), auditing unit size, communication style, team culture, and individual characteristics (Francis and Yu, 2009; Proell, Zhou, and Nelson, 2021; Blum, Hatfield, and Houston, 2021), as well as the independence of the audit works and the opinions of assessments (Lee, Chen, and Tsai, 2020; Shiue, Yeh, and Chen, 2021); the analysis model constructs are incomplete. Besides, the parameter changes do not significantly affect the model results, as the analysis process of this study do not consider the self-adaptive mechanism to such changes in the parameters. Future study can explore the adaptive parameters and further construct a more complete model to improve the complete evaluation in practice.

5. Originality/Contribution

Compared with previous internal audit research, this study has the following contributions. Given the trend of empirical research such as audit workforce planning, internal audit variable discussion, and audit performance evaluation, this research proposes an audit performance optimization model of integrated machine learning and heuristic algorithm technology—an empirical study of audit performance management in the financial industry. An integrative practical model is proposed by applying theoretical perspectives on performance appraisals and auditing assignments from the past literature. With the provided performance evaluation mode and audit-task scheduling mode, it can solve the common audit management problems in an audit department of financial holding companies (auditor performance forecast, audit task assignment, audit assignment criteria). What's more, we can systematically evaluate the performance of each auditor in an enterprise. Both task performance and departmental review work planning optimization are of substantial assistance. To provide a reference for the practical application of management science methods in financial audit research, the data analysis model is suitable for all audit departments in the financial industry.

References

- 王儷玲、彭金隆與張義宏，2006，我國壽險業銀行保險業務參與度與經營效率分析，*臺大管理論叢*，17 期 1 卷：59-90。(Wang, Jennifer L., Peng, Jin-Lung, and Chang, Yi-Huang. 2006. The impact of bancassurance on the efficiency performance of life insurance companies in Taiwan. *NTU Management Review*, 17 (1): 059-090.)
- 吳東憲、黃劭彥與康熙宗，2019，資訊科技稽核品質，資訊科技內部控制與資訊科技治理之關聯性研究，*管理與系統*，26 卷 2 期 26 卷：179-207。(Wu, Tung-Hsien, Huang, Shaio-Yan, and Kang, Chao-Chung. 2019. The relationship between IT audit quality, IT internal control and IT governance effectiveness. *Journal of Management & Systems*, 26 (26): 179-207.)
- 李建然、陳信吉與蔡宗益，2020，責任分攤式查核意見與集團企業合併財務報表審計品質關聯性：以會計師調整數為衡量基礎，*臺大管理論叢*，30 卷 2 期：37-70。(Lee, Jan-Zan, Chen, Hsin-Chi and Tsai, Tsung-Yi. 2020. The relationship between shared audit opinions and the audit quality of group enterprises' financial statements - based on the audit adjustment. *NTU Management Review*, 30 (2): 37-70.)
- 李華，2001，努力、誘因機制與審計決策績效，*臺大管理論叢*，11 卷 2 期：259-294。(Lee, Huwa. 2001. Effort, incentive scheme, and audit decision performance. *NTU Management Review*, 11 (2): 259-294.)
- 李貴富，2018，查核品質屬性、財務報表可比性與投資效率，*臺大管理論叢*，28 卷 2 期：129-164。(Li, Kuei-Fu. 2018. Auditor quality attributes, the comparability of financial statements and investment efficiency. *NTU Management Review*, 28 (2): 129-164.)
- 邱志洲、簡德年與高凌菁，2004，演化式類神經網路在企業危機診斷上之應用—智慧資本指標的考量，*臺大管理論叢*，14 卷 2 期：1-22。(Chiu, Chih-Chou, Chien, Te-Nien, and Kao, Ling-Jing. 2004. Applying the hybrid neural network model to diagnose the enterprise distress—consideration of intellectual capital indicator. *NTU Management Review*, 14 (2): 001-022.)
- 張碩毅、游勝宇與張益誠，2008，企業資源規劃系統績效評估—「平衡」計分卡模式與進行方式，*資訊管理學報*，15 期 2 卷：109-133。(Chang, She-I, Yu, Sheng-Yu, and Chang, I-Cheng. 2008. Evaluating the performance of enterprise resource planning systems with balanced scorecard approach. *Journal of*

Information Management, 15 (2): 109-133.)

- 郭俐君與廖懿屏，2020，揭露內部控制缺失之效益：臺灣銀行業之實證，*臺大管理理論叢*，30 卷 2 期：175-210。(Kuo, Li-Chun, and Liao, Yi-Ping. 2020. The benefits of disclosing internal control weaknesses: evidence from Taiwanese banks. *NTU Management Review*, 30 (2): 175-210.)
- 黃政仁與蕭逸強，2017，中華郵政公司績效管理制度之研究—以平衡計分卡為架構，*當代會計*，18 期 2 卷：121-153。(Huang, Cheng-Jen, and Hsiao, Yi-Chiang. 2017. The study of Chunghwa Post company performance management system - a balanced scorecard framework. *Journal of Contemporary Accounting*, 18 (2): 121-153.)
- 楊正甫，1995，軟體開發之差異分析與績效評估模式，*臺大管理理論叢*，6 卷 1 期：101-128。(Yang, Cheng-Fu. 1995. Estimation model for analytical evaluation of software project in development performance. *NTU Management Review*, 6 (1): 101-128.)
- 鄭桂蕙與林宛瑩，2017，內部稽核特性與財務報導品質，*會計評論*，64 期：113-146。(Cheng, Kuei-Hui. and Lin, Wan-Ying. 2017. Characteristics of internal auditors and financial reporting quality. *Journal of Accounting Review*, 64: 113-146.)
- 薛敏正、葉淑玲與陳靜宜，2021，會計師簽證網絡與審計獨立性：來自繼續經營疑慮審計意見的實證分析，*臺大管理理論叢*，31 卷 3 期：203-236。(Shiue, Min-Jeng, Yeh, Shu-Ling, and Chen, Ching-Yi. 2021. Auditors' signing networks and auditor independence: empirical evidence from going-concern opinions. *NTU Management Review*, 31 (3): 203-236.)
- Abbott, D. W. 1999. *Combining models to improve classifier accuracy and robustness*. Paper presented at Proceedings of the International Conference on Information Fusion (Fusion'99), Sunnyvale, CA.
- Abboud, N., Inuiguchi, M., Sakawa, M., and Uemura, Y. 1998. Manpower allocation using genetic annealing. *European Journal of Operational Research*, 111 (2): 405-420.
- Abdolmohammadi, M., and Wright, A. 1987. An examination of the effects of experience and task complexity on audit judgments. *Accounting Review*, 62 (1): 1-13.
- Adeva, J. J. G., Beresi, U., and Calvo, R. 2005. Accuracy and diversity in ensembles of text categorisers. *CLEI Electronic Journal*, 9 (1): 1-12.

- Aggarwal, A., and Thakur, G. S. M. 2013. Techniques of performance appraisal-a review. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2 (3): 617-621.
- Ahmed, I., Sultana, I., Paul, S. K., and Azeem, A. 2013. Employee performance evaluation: A fuzzy approach. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 62 (7): 718–734.
- Alissa, W., Capkun, V., Jeanjean, T., and Suca, N. 2014. An empirical investigation of the impact of audit and auditor characteristics on auditor performance. *Accounting, Organizations and Society*, 39 (7): 495-510.
- Asare, S. K., and McDaniel, L. S. 1996. The effects of familiarity with the preparer and task complexity on the effectiveness of the audit review process. *Accounting Review*, 71 (2): 139-159.
- Balakrishnan, R., Lin, H., and Sivaramakrishnan, K. 2020. Screening talent for task assignment: Absolute or percentile thresholds?. *Journal of Accounting Research*, 58 (4): 831-868.
- Bănărescu, A. 2015. Detecting and preventing fraud with data analytics. *Procedia economics and finance*, 32: 1827-1836.
- Bedard, J. 1989. Expertise in auditing: Myth or reality? *Accounting, Organizations and Society*, 14 (1-2): 113-131.
- Blum, E. S., Hatfield, R. C., and Houston, R. W. 2022. The effect of staff auditor reputation on audit quality enhancing actions. *The Accounting Review*, 97 (1): 75-97. <https://doi.org/10.2308/TAR-2019-0341>
- Bonner, S. 1991. Is experience necessary in cue measurement? The case of auditing tasks. *Contemporary Accounting Research*, 8 (1): 253-269.
- Bonner, S. E. 1994. A model of the effects of audit task complexity. *Accounting, organizations and society*, 19 (3): 213-234.
- Boskou, G., Kirkos, E., and Spathis, C. 2019. Classifying internal audit quality using textual analysis: the case of auditor selection. *Managerial Auditing Journal*, 34 (8): 924-950.
- Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine learning*, 45 (1): 5-32.
- Brown, S. P., and Leigh, T. W. 1996. A new look at psychological climate and its relationship to job involvement, effort, and performance. *Journal of applied psychology*, 81 (4): 358.

- Campbell, D. J. 1988. Task complexity: A review and analysis. *Academy of Management Review*, 13 (1): 40-52.
- Caramanis, C., and Lennox, C. 2008. Audit effort and earnings management. *Journal of Accounting and Economics*, 45 (1): 116-138.
- Chen, X., Cho, Y. H., Dou, Y., and Lev, B. 2022. Predicting Future Earnings Changes Using Machine Learning and Detailed Financial Data. *Journal of Accounting Research*, 60 (2): 467-515.
- Chen, X., and Wang, F. 2010. *Application of data mining on enterprise human resource performance management*. Paper presented at 2010 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Kunming, China.
- Chen, Y., Xie, W., and Zou, X. 2015. A binary differential evolution algorithm learning from explored solutions. *Neurocomputing*, 149: 1038-1047.
- Choi, J. H., Choi, S., Hogan, C. E., and Lee, J. 2013. The effect of human resource investment in internal control on the disclosure of internal control weaknesses. *Auditing: A Journal of Practice & Theory*, 32 (4): 169-199.
- Chychyla, R., Leone, A. J., and Minutti-Meza, M. 2019. Complexity of financial reporting standards and accounting expertise. *Journal of Accounting and Economics*, 67 (1): 226-253.
- Clement, M. B., Koonce, L., and Lopez, T. J. 2007. The roles of task-specific forecasting experience and innate ability in understanding analyst forecasting performance. *Journal of Accounting and Economics*, 44 (3): 378-398.
- Cloyd, C. B. 1997. Performance in tax research tasks: The joint effects of knowledge and accountability. *Accounting Review*, 72 (1): 111-131.
- Dahmen, S., Rekik, M., Soumis, F., and Desaulniers, G. 2020. A two-stage solution approach for personalized multi-department multi-day shift scheduling. *European Journal of Operational Research*, 280 (3): 1051-1063.
- Dodin, B., and Elimam, A. A. (1997). Audit scheduling with overlapping activities and sequence-dependent setup costs. *European Journal of Operational Research*, 97 (1): 22-33.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., and Smyth, P. 1996. From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine*, 17 (3): 37-37.
- Francis, J. R. 2004. What do we know about audit quality?. *The British accounting review*,

36 (4): 345-368.

- _____, 2011. A framework for understanding and researching audit quality. *Auditing: A Journal of Practice & Theory*, 30 (2): 125-152.
- Francis, J. R. and Yu, M. D. 2009. Big 4 office size and audit quality. *The Accounting Review*, 84(5): 1521-1552.
- Gimbar, C., Jenkins, J. G., Saucedo, G., and Wright, N. S. 2018. Shifting styles: Do auditor performance levels influence the review process?. *International Journal of Auditing*, 22 (3): 554-567.
- Hirst, D. E. 1994. Auditor sensitivity to earnings management. *Contemporary Accounting Research*, 11 (1): 405-422.
- Hochreiter, S., and Schmidhuber, J. 1997. Long short-term memory. *Neural Computation*, 9 (8): 1735-1780.
- Hwang, S. M., Kao, C. Y., and Horng, J. T. 1994. *On solving rectangle bin packing problems using genetic algorithms*. Paper presented at Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, San Antonio, TX.
- Islami, X., Mulolli, E., and Mustafa, N. 2018. Using management by objectives as a performance appraisal tool for employee satisfaction. *Future Business Journal*, 4 (1): 94-108.
- Kirimi, J. M., and Moturi, C. A. 2016. Application of data mining classification in employee performance prediction. *International Journal of Computer Applications*, 146 (7): 28-35.
- Kokina, J., and Davenport, T. H. 2017. The emergence of artificial intelligence: How automation is changing auditing. *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, 14 (1): 115-122.
- Krogh, P. S. A. 1996. *Learning with ensembles: How over-fitting can be useful*. Paper presented at Proceedings of the 1995 Conference on Neural Information Processing Systems, Denver, CO.
- L'heureux, A., Grolinger, K., Elyamany, H. F., and Capretz, M. A. 2017. Machine learning with big data: Challenges and approaches. *IEEE Access*, 5: 7776-7797. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2696365>
- Lim, C. Y., and Tan, H. T. 2009. Does auditor tenure improve audit quality? Moderating effects of industry specialization and fee dependence. *Contemporary Accounting Research*, 27 (3): 923-957.

- Lin, C. M., and Gen, M. 2008. Multi-criteria human resource allocation for solving multistage combinatorial optimization problems using multiobjective hybrid genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 34 (4): 2480-2490.
- Maynard, D. C., and Hakel, M. D. 1997. Effects of objective and subjective task complexity on performance. *Human Performance*, 10 (4): 303-330.
- Mohd-Sanusi, Z., and Mohd-Iskandar, T. 2007. Audit judgment performance: assessing the effect of performance incentives, effort and task complexity. *Managerial Auditing Journal*, 22 (1): 34-52.
- More, A. S., and Rana, D. P. 2017. *Review of random forest classification techniques to resolve data imbalance*. Paper presented at 2017 1st International Conference on Intelligent Systems and Information Management (ICISIM), Aurangabad, India.
- Morris, J. G., and Showalter, M. J. 1983. Simple approaches to shift, days-off and tour scheduling problems. *Management Science*, 29 (8): 942-950.
- Pace, R. W., 2002. The organizational learning audit. *Management Communication Quarterly*, 15 (3), 458-465.
- Petasis, A., Christodoulou, S., and Louca, A. 2020. Employees perception on performance appraisal effectiveness in the Cyprus public sector (EAC). *International Journal of Human Capital Management*, 4 (1): 26-41.
- Proell, C. A., Zhou, Y. D., and Nelson, M. W. 2022. It's not only what you say... How communication style and team culture affect audit issue follow-up and auditor performance evaluations. *The Accounting Review*, 97 (2): 373-395.
- Qiao, G. 2020. Application research of big data technology in audit field. *Theoretical Economics Letters*, 10 (05): 1093.
- Roussy, M., Barbe, O., and Raimbault, S. (2020). Internal audit: From effectiveness to organizational significance. *Managerial Auditing Journal*, 35 (2): 322-342.
- Schleicher, D. J., Baumann, H. M., Sullivan, D. W., Levy, P. E., Hargrove, D. C., and Barros-Rivera, B. A. 2018. Putting the system into performance management systems: A review and agenda for performance management research. *Journal of Management*, 44 (6): 2209-2245.
- Shearer, C. 2000. The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining. *Journal of Data Warehousing*, 5 (4): 13-22.
- Strobl, C., Malley, J., and Tutz, G. 2009. An introduction to recursive partitioning:

rationale, application, and characteristics of classification and regression trees, bagging, and random forests. *Psychological Methods*, 14 (4): 323.

Tan, H. T., Ng, T. B. P., and Mak, B. W. Y. 2002. The effects of task complexity on auditors' performance: The impact of accountability and knowledge. *Auditing: A Journal of Practice & Theory*, 21 (2): 81-95.

Ulmer, M. W., Thomas, B. W., Campbell, A. M., and Woyak, N. 2021. The restaurant meal delivery problem: Dynamic pickup and delivery with deadlines and random ready times. *Transportation Science*, 55 (1): 75-100.

Wang, Y. R., and Kong, S. L. 2012. Applying genetic algorithms for construction quality auditor assignment in public construction projects. *Automation in Construction*, 22: 459-467.

Wu, T. H., Huang, S. M., Huang, S. Y., and Yen, D. C. 2017. The effect of competencies, team problem-solving ability, and computer audit activity on internal audit performance. *Information Systems Frontiers*, 19 (5): 1133-1148.

Author Biography

*Tzu-Chien Wang

Tzu-Chien Wang is a Ph.D. student in the Department of Business Administration at National Taiwan University. His research and teaching interests are in the area of application of artificial intelligence, data mining, and continuous process improvement techniques for the financial sector.

*E-mail: D08741009@ntu.edu.tw

