

結合支援向量機與多準則決策方法評鑑綠色供應商績效

USING SUPPORT VECTOR MACHINE COMBINED WITH MULTI - CRITERIA DECISION MAKING METHODS TO EVALUATE GREEN SUPPLIERS PERFORMANCE

張木興*

國立臺北科技大學工商管理研究所博士研究生

劉建浩

國立臺北科技大學工業工程與管理系教授

羅懷暉

國立臺北科技大學工業工程與管理系博士後研究

徐敏喜

國立臺北科技大學工業工程與管理系碩士班研究生

Mu-Hsing Chang

*Doctoral Graduate Student, Institute of Industrial and Business Management,
National Taipei University of Technology*

James J. H. Liou

*Professor, Department of Industrial Engineering and Management,
National Taipei University of Technology*

Hai-Wei Lo

*Doctor, Department of Industrial Engineering and Management,
National Taipei University of Technology*

Min-His Hsu

*Graduate Student, Department of Industrial Engineering and Management,
National Taipei University of Technology*

*通訊作者，地址：106 台北市大安區忠孝東路三段 1 號，電話：(02)2771-2171 分機 2340
E-mail：102emba01iem@gmail.com

摘要

隨著環保意識的不斷提高和國際環保組織的要求，綠色供應鏈管理發揮了至關重要的作用。因此，如何選擇符合國際綠色法規的綠色供應商是企業最重要的戰略之一。在過去的研究中，大多數評估準則是透過文獻或專家訪談獲得的，但這方式往往過於主觀。很少有研究使用資料探勘方法來確定評估準則。因此，本研究提出一個新穎的混合模型，分三個階段對綠色供應商進行評估和選擇。首先，根據供應商的實際數據，使用支持向量機（SVM）模型提取有影響力的關鍵準則。其次，應用模糊最佳最差方法（F-BWM）來計算準則的權重。第三，本文利用改進的模糊 TOPSIS 方法應用於供應商選擇。最後，使用敏感度分析來探索偏好權重的影響。此外，本研究透過某電子業的綠色供應商案例分析，證明了所提出模型的有效性。

關鍵字：支援向量機、資料探勘、綠色供應商、多準則決策、多屬性決策

ABSTRACT

With the incessant rise of environmental awareness and requests from the international environmental protection organizations, the green supply chain management has played a vital role. Therefore, how to choose green suppliers that comply with international green regulations is one of most important strategies for the firms. In past studies, most evaluating criteria were obtained through literature or expert interviews, which tended be too subjective. There are few studies using data mining methods to decide the evaluating criteria. Judging from this, this study adopts three stages to evaluate and select the green suppliers. First, a Support Vector Machine (SVM) model was used to extract the influential key criteria according to the actual performance of the suppliers. Second, the Fuzzy Best Worst Method (F-BWM) was applied to calculate the weights of criteria. Third, this paper applies the modified Fuzzy TOPSIS for the supplier selection. Finally, a sensitivity analysis is used to explore the influence of preference weights. In addition, to demonstrate the usefulness of the proposed model, the proposed model was demonstrated through a green manufacturing in the electronics industry.

Keywords: Support Vector Machine (SVM), Data Mining, Green Suppliers, Multiple Criteria Decision-Making (MCDM), Multiple Attribute Decision-Making (MADM)

壹、緒論

近年來，環境保護問題已經引起許多組織的關注 (Jayant & Agarwal, 2019)。由於氣候的極端變化與自然災害的頻繁，迫使各國政府更加重視環境保護，並制定了許多環境可持續發展的規範與處罰條款，以治癒過去幾十年來環境遭受的破壞 (Jassim, Al-Mubarak, & Hamdan, 2020)。聯合國於 2015 年提出永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs)、世界貿易組織 (World Trade Organization, WTO)、世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 與歐盟 (European Union, EU) 等國際組織也頒布了許多環境保護與監控的立法與協議 (Peng, Tu, Elahi, & Wei, 2018)。

總體而言，綠色產業概念仍處於起步階段，綠色供應鏈就是在這種背景下應運而生的，並且綠色產業的概念也已經反應在綠色供應鏈管理，供應鏈管理最重要的是選擇適當的綠色供應商，對於企業和環境都至關重要 (Akcan & Taş, 2019; Jassim et al., 2020)。企業為了保持競爭的優勢且符合環境保護的要求，優良的綠色供應鏈管理 (Green Supply Chain Management, GSCM) 成為企業重要的任務，因此，企業有責任評鑑與監督綠色供應商所產生的污染及廢棄物，造成環境破壞與負荷。所以，綠色供應商選擇是 GSCM 中最重要的管理環節之一。綠色供應商評估與選擇是一個複雜的過程，需考慮定性與定量的因素來評選供應商。包括產品開發與設計、原物料採購管理、成本控制、重金屬及無毒進料檢驗、生產過程、可靠性認證、產品環境管理、最終產品交付以及在產品壽命結束時等的管理 (Akcan & Taş, 2019)。所以，多準則決策方法 (Multiple Criteria Decision Making, MCDM) 是評選綠色供應商問題適當的分析工具。

近年來，綠色供應商評選的問題已被諸多專家學者應用 MCDM 方法來討論，例如：Liu et al. (2018) 利用了一種新穎的兩階段模糊集成 MCDM 方法來選擇合適的供應商，並且在客戶需求 (Customer Requirements, CRs)、公司策略 (Company Strategies, CSs) 兩個矩陣中分別選擇各準則之間的關係，結果驗證了該方法的可行性及幫助公司改善 CSs，並提高了市場競爭力。Lo, Liou, Wang, and Tsai (2018) 研究提出一種新穎的 MCDM 模型，使用了最佳最差方法 (Best-Worst Method, BWM) 及整合改良的模糊算法技術 (Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, F-TOPSIS) 再通過模糊多目標線性規劃 (Fuzzy Multi-Objective Linear Programming, F-MOLP)，以解決綠色供應商選擇和訂單分配中的問題，該模型可以有效地評估綠色供應商的績效，並可以優化合格供應商的訂單分配。Rouyendegh, Yildizbasi, and Üstünyer (2020) 基於綠色供應商選擇 (Green Supplier Selection, GSS)，使用 MCDM 方法評選環境標準，該方法在決策者評估準則時可獲得更可靠的結果。Fallahpour, Wong,

Rajoo, and Mardani (2019) 在綠色管理的屬性及評選適當供應商問題，提供了一種新的模糊偏好規劃 (Fuzzy Preference Programming, FPP) 和模糊 VIKOR (Fuzzy VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, F-*VIKOR*)，以評估供應商在碳管理標準方面的績效。Jayant and Agarwal (2019) 應用 DEMATEL 提供了一個新的混合決策方法，發現標準之間的因果關係，並建立的訂單分配規則組合。Zhao, Liu, Zhang, and Huang (2017) 探討綠色供應鏈中的風險與成本關係，以多目標最佳化演算方法 (Multi-Objective Evolutionary Algorithm) 結合大數據來分析專家語意模糊與資訊不確定性的問題。Tseng, Lim, Wu, Zhou, and Bui (2018) 使用三角模糊理論 (Triangular Fuzzy number and the Fuzzy theory) 結合灰關聯方法 (Grey Relational Analysis, *GRA*) 處理綠色供應商選擇問題。Gupta and Barua (2017) 使用 *BWM* 求得準則主觀權重，再以 *F-TOPSIS* 對綠色供應商進行排名。根據上述文獻說明，*MCDM* 在綠色供應商選擇的議題是具有可靠性與有效性的方法 (Kumar, Rahman, & Chan, 2017)。

在上述的 *MCDM* 模型中，大都利用文獻探討或專家訪談建立評估架構。然而，透過專家來決定評估準則的方式會衍伸出兩個問題：第一，評估準則過多時，關鍵的準則如何篩選的問題。第二，如何將這些準則進行歸納成層級結構進行分析。為克服這兩個研究缺口，本研究提出一個新穎的混合模型，首先使用 *Support Vector Machine (SVM)* 從大數據資料中萃取出關鍵的準則。接著，建立簡化的評估模型，使用 *Fuzzy Best Worst Method (F-BWM)* 來獲得準則的權重與其排序。最後，以 *F-TOPSIS* 以整合綠色供應商的績效與優先順序。透過 *F-BWM* 與 *F-TOPSIS* 的分析，選擇出一個最佳供應商。此外，所提出的模型為決策者與綠色供應商提供了可用的管理意涵與改善意見。資料探勘是在一個龐大數據資料庫中建立一個分析模型，透過大量資料中，找出有用的規則性，從中找出潛在特徵及因素間的關聯性。經由歸納及分析後，獲得準確及有價值的資訊供決策者擬定策略。資料探勘已廣泛應用在各個領域中，如電子商務、網路行銷、醫療科學、金融分析、市場評估、可再生與可持續能源、大數據的船舶自動識別系統等 (Sharma, Singh, & Singh, 2017; Lin, Huang, & Tseng, 2017; Shimomura, Nemoto, Ishii, & Nakamura, 2018; Kavakiotis, Tsave, Salifoglou, Maglaveras, Vlahavas, & Chouvarda, 2017; Zhang, Chen, Su, & Li, 2019; Lv, 2020)。

由於各產業別所需要的資料型態不同，因此，在資料探勘分析方法也不盡相同，常見的資料探勘技術有類神經網路 (*Neural Networks*)、基因演算方法 (*Genetic Algorithm*)、決策樹 (*Decision Trees*)、區別分析 (*Discriminant Analysis*) 等方法，不同的方法依照不同的理論可以在不同的應用領域上。Yanqiang, Hongfang, Zhaoyao, and Liang (2020) 提出了一種基於整體經驗模態分解 (*EEMD*) 和 *SVM* 的錐齒輪故障診斷方法，並將特徵向量作為樣本輸入 *SVM*。實驗結果顯示這種新穎的分析方法能夠有

效地診斷錐齒輪的不同狀態，對齒輪故障的識別率達到 98.33%。Luo, Yan, and Tian (2020) 使用 SVM 探討個人信用數據和公司信用問題。Pan, Zhang, Wu, and Skibniewski (2020) 融合概率 SVM 和改進的 Dempster-Shafer (DS) 證據理論，以一個實際的運營案例用來證明該方法的可行性和有效性，旨在評估結構性風險的嚴重性及最關鍵性的風險因素進行深入分析，可以早期採取適當的補救措施。

現今使用資料探勘的方法篩選評估綠色供應商之準則的論文仍然相對稀少。因為 SVM 具有極佳的分類準確性 Yanqiang et al. (2020)，因此本研究利用資料探勘技術之 SVM 進行準則篩選，可以有效的萃取出關鍵準則，剔除低影響性的準則，使得研究模型更增加穩定性，也能提高客觀性，為了解決過去對準則評估過於主觀的問題，幫助廠商選擇適當綠色供應商，本研究將以電子產業為案例分析說明本模型的有效與實用性，利用某電子製造業的稽核報告為實證分析，先以 SVM 建立模型並進行準則篩選，如此可以避免評估準則過於主觀的問題。再利用 F-BWM 來獲得各準則的權重值。BWM 是近五年來最熱門的權重計算方法之一，它克服了層級分析方法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 的兩個缺點，即成對比較次數多與一致性不佳的問題。最後本研究使用 F-TOPSIS 進行排序，以增加企業管理者在選擇綠色供應商之決策依據。總而言之，本研究提出的新穎模型有三個主要的特徵與貢獻：

- (一) 運用資料探勘的方法，以 SVM 分析顯著影響的綠色供應商評選準則，解決傳統利用文獻彙整或專家意見過於主觀的疑慮。
- (二) 克服專家資訊不確定，透過 F-BWM 與 F-TOPSIS 的模型，整合 SVM 篩選後的評估架構，衡量與排序各個供應商的績效表現，以克服 AHP 的缺點，包含成對比較次數大幅減少，以及獲得更佳的一致性結果。
- (三) 以某跨國電子製造業為案例，說明本研究模型的實用性與有效性，並且提供各個供應商改善的方針，以維持供應鏈的品質。

本文的其餘部分安排如下。第二節介紹了綠色供應鏈管理及相關之研究。第三節描述了所提出的 SVM 及 MCDM 混合模型的方法與其方法的基礎概念。第四節介紹真實的案例分析，以證明所提出模型的可行性和實用性。第五節進行敏感度分析，並且討論管理意涵。第六節總結了全文的討論並提供了未來研究方向。

貳、文獻回顧

本節共分為二部分，回顧與探討過去綠色供應鏈管理，以及綠色供應商評估準則與績效計算方法之相關文獻之貢獻，再說明其研究缺口。

一、綠色供應鏈管理

綠色供應鏈管理 (Green Supply Chain Management, GSCM) 由 Winn and Roome (1993) 提出，係指企業將綠色環保概念導入供應鏈管理系統，將暨有的生產技術增加環保管理概念，並延伸至企業所有供應鏈都完整的納入環境保護管理機制。Zhu and He (2017) 綠色供應鏈 (Green Supply Chain, GSC) 已被全球先進國家認為是未來的重要發展方向，因此，建立綠色供應鏈績效評估，已成為各國工業發展所要優先考量的主要關鍵，然而，國際綠色環境保護壁壘以及消費者對環保意識的覺醒，面對各國政府綠色法規的要求，企業若想要可持續發展與保持競爭優勢，勢必要肩負起環境保護的社會責任、綠色產品設計及生產。Tian and Sarkis (2020) 評估組織對可持續發展與供應鏈管理績效評估的初步研究，提供了關於能值核算分析 (Emergy accounting analysis)，擴大進行對未來研究的方向及通過擴展供應商績效評估領域做出了貢獻。Shahzad et al. (2020) 基於組織相容性對 GSCM 的努力，並估計其對組織績效的影響，以實際數據檢查 370 種有效反應並驗證研究，結果表明；組織兼容性 (技術，運營和文化) 積極有效推動了 GSCM 工作的績效，結果還表明，信息技術 (Information Technology, IT) 的影響是 GSCM 工作與組織績效之間關係的關鍵因素。

全球供應鏈管理的議題，近年來已經引起許多學者的重視與研究 (Danese, Romano, & Formentini, 2013)，在國際綠色環境保護法規的增訂以及氣候變遷的環境的壓力下，促使企業開始響應實施 GSCM，並且迅速出現諸多對綠色定義的相關研究文獻。回顧 1998 年至 2017 年出版的 GSCM 文獻，與未來研究的領域和方向，根據內容分析，所提出見解以及文獻分類，包括概念發展、驅動因素、障礙與供應鏈合作夥伴的協作。數學和其他優化模型，評估綠色供應鏈管理實踐和績效，進一步探索該學科做出貢獻提供及新途徑 (Tseng, Islam, Karia, Fauzi, & Afrin, 2019)。例如：綠色設計、綠色採購、綠色製造、綠色分銷、綠色包裝、綠色營銷、環境教育、內部環境管理和投資回收，包含最終產品交付給消費者以及產品使用壽命後及產品回收的終身管理 (Sellitto, Hermann, Blezs, & Barbosa-Póvoa, 2019; Çankaya & Sezen, 2019)。

二、綠色供應鏈相關之研究

近年來，有諸多專家學者研究綠色供應商選擇的相關問題，例如：Haeri and Rezaei (2019) 應用經濟和環境標準，以基於灰色理論的綠色供應商選擇模型，並結合模糊灰色認知圖 (Fuzzy grey cognitive maps)，提出了一種新的權重分配模型，並考慮準則之間的相互依賴性。Banaeian, Mobli, Fahimnia, Nielsen, and Omid (2018) 則改進了灰色關聯分析，用灰色權重來評估綠色供應商，然後使用間隔分析方法對綠色供應商進行排名，並將模糊集理論納入 TOPSIS、VIKOR 和 GRA 等方法進行探討，並以農業食品行業為例，完成綠色供應商評選。類似的研究使用 AHP，再利用 F-TOPSIS 獲得供應商排名，由於 AHP 成對比較次數較多，將會造成決策者填答容易混淆不易達到一致性 (Hamdan & Cheaitou, 2017)。Yazdani, Chatterjee, Zavadskas, and Zolfani (2017) 研究發現正確的供應商評選可以降低運營成本和提高組織競爭力，同時也是發展商機的重要策略決策。Ecer (2020) 提出區間 2 型模糊 AHP (interval type-2 Fuzzy AHP, IT2FAHP) 的綠色供應商選擇多標準決策模型，研究結果顯示，該模型的穩定性和有效性，且該方法有效獲得合適綠色供應商評選及排名。Bakeshlou, Khamseh, Asl, Sadeghi, and Abbaszadeh (2017) 使用模糊決策試驗和評估實驗室方法 (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL) 探討標準之間的相互關係，以模糊網路層級分析法 (Fuzzy Analytic Network Process, F-ANP) 和模糊多目標線性規劃 (Multiple Fuzzy Objective Linear Programming, MFOLP) 混合，最後提出供應商之間的最佳化訂單分配。Zhao et al. (2017) 以多目標最佳化演算方法結合大數據分析，提出綠色供應鏈管理方案的多目標優化模型，以最大程度地減少有害物質產生的固有風險和經濟成本為目標。Tseng et al. (2018) 利用三角模糊理論結合灰關聯方法，來處理專家語意模糊語資訊不確定性的問題，以增強綠色供應鏈管理，並提供一個案例研究來驗證優化模型，再與其他方法比較以奠定基礎，並提升產業的績效。Gupta and Barua (2017) 利用文獻回顧以及決策者訪談來選擇綠色評選準則，再透過 BWM 獲得準則主觀權重值，最後結合 F-TOPSIS，在中小企業綠色供應商作績效與排名與靈敏度分析，研究結果顯示；有助於對供應商進行排名。Ma, Lei, and Sun (2020) 提出一種解決綠色供應商選擇的概念以及決策理論粗糙集 (Decision-Theoretic Rough Set, DTRS) 的最低預期風險的方法處理此問題，結果表明；在開發新視角的風險決策中，提供了最合適的綠色供應商評選。Lo, Liou, Wang, and Tsai (2018) 結合 Multiple Attribute Decision-Making (MADM) 和 Multi-Objective Decision-Making (MODM) 建立一個綜合模型，幫助企業選擇最佳合格供應商並為其分配訂單，結果顯示；所提出的兩階段模型更加實用和可靠，使訂單分配過程更符合邏輯並反映供應商評估結果。Bai and Satir (2020) 開發出一種包含 Grey-DEMATEL 和 Grey-ISM (Interpretative Structural Modelling Method, ISM) 的混合方法，在資訊的不確定性下綠色供應商發展計劃 (Green Supplier

Development Program, GSDP)，分析在兩者之間的關係和作用，結果顯示：製造產業需要有外部的政府法規支持及內部高層管理的相互承諾，以有效地實施 GSDP，獲得研究表明，提供了進一步研究的意義和方向。Li, Wu, Li, Yuan, and Zhao (2020) 以機械故障為例，提出 SVM 方法與正常故障診斷的實驗比較的有效性，並由實驗中的真實數據集診斷，結果表明；提出的 SVM 方法的故障診斷模型具有更好的準確性和效率。Yang and Lin (2020) 以一家汽車公司的案例研究，探討綠色創新和供應鏈協作 (Supply Chain Collaboration, SCC) 對綠色創新績效並考慮供應鏈協作驅動因素得到了驗證。Jiang, Hu, Yen, and Tsao (2018) 以選擇綠色零件供應商為例，提出了一種新的灰色 DANP (Grey DEMATEL-based ANP)，有效地減少綠色供應商對環境管理績效產生的巨大問題，研究證明所提出的有效性。Jayant and Agarwal (2019) 以電子行業為例，進行研究，利用 DEMATEL 提供了一個新的混合戰略決策方法，發現標準之間的因果關係並對結果進行分析，獲得該方法產生的決策知識，並建立優化訂單分配規則組合。

綜合上述；在過去研究中，評選供應商的相關研究，其評選的準則皆是利用過去參考文獻及經由問卷調查或專家意見而得，再結合多屬性決策方法，評選出最佳的供應商。然而，在現實情況中，評選供應商時，由各部門專家挑選重要的準則進行評估，可能會造成過於主觀或者專業上的偏頗影響而有失客觀性。遺憾的是，目前僅有少數的研究以資料探勘的方法篩選評估供應商之準則。本研究利用資料探勘方法中的 SVM 進行準則篩選，可以有效的縮減評估準則，剔除影響性低的準則，使得研究模型更加穩健外，也能提升客觀性，並且可以解決過去準則認定過於主觀的問題，因此，本研究模型採用 SVM 結合 MCDM，共分三個階段來說明綠色供應商評選的實用性與有效性，最終結果可使企業或決策者做出客觀且準確的決策。

參、研究方法

本節介紹結合資料探勘技術與多屬性決策，首先利用 SVM 做綠色供應商準則的篩選，分析出關鍵影響準則，再利用 BWM 獲得準則之權重，最後用 F-TOPSIS 作績效排序供應商，權重評估方法與詳細的計算過程如下。

一、SVM 方法

SVM 是在線性可分割情況下，最佳分類超平面發展而來的，首先定義區分平面的邊界距離為 $d_+ + d_-$ ， d_+ 和 d_- 分別表示 +1 類別和 -1 類別具離區分超平面之最短距離，假設區分超平面 $H_c = wx + b = 0$ ， $w \in R_n$ 為超平面方法之向量， $b \in R_n$ 為偏移量，訓練資料為 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i)$ ， $x_i \in R_n$ ，其中 $y_i \in \{+1, -1\}$ 代表每個資料點 x_i 所屬的類別，且將超平面 H_c 令為 $f(x) = wx + b$ 並稱之為決定函數，當一筆測試資料輸入 SVM 時，可以依據決定函數之值來分類，若 $f(x) > 0$ ，將該筆資料歸類為 +1；若 $f(x) < 0$ ，將該筆資料歸類為 -1。

然而，在許多案例中，並不是所有的資料都可以找到線性區分超平面，若為非線性的問題，則無法在原始資料空間中找到線性區分超平面，此時必須藉助核心函數 Φ ，將原先低維度空間資料映射到更高維度的空間或特徵空間 (Feature Space)，將低維度空間中的不可分割資料使其能夠在特徵空間中作線性分類，以獲得較佳分類結果。因此，透過核心函數 (Kernel Function) 的選擇可使原本複雜的問題簡單化。

核心函數的概念最早由 Aizerman (1964) 提出，選擇適當核心函數能夠使資料呈現的更加清楚，不僅可以縮短分類時間也能降低操作的複雜程度。然而，不同核心函數所對應到不同資料會呈現不同的分類效果。因此，核心函數的選擇也是 SVM 的重要關鍵。

在非線性 SVM 中 $\Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j)$ 會影響最終分類結果，而 $\Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j)$ 可以利用核心函數來取代，因此，只要利用核心函數計算出資料在特徵空間的內積值，就不需要直接把資料映射到特徵空間，其方程式如下：

$$k(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j) \quad (1)$$

且非線性 SVM 所處理的最佳化問題函數可寫為：

$$L_D = \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=0}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j k(x_i \cdot x_j) \quad (2)$$

s. t.

$$0 \leq \alpha_i \leq C, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i y_i = 0$$

非線性 SVM 可透過適當的核心函數轉換，並找出最佳的區分超平面，其常用的核心函數有線性 (Linear)、多項式 (Polynomial)、放射 (Radial Basis Function, RBF) 和 S 型 (Sigmoid)，且其函數介紹如下所示：

(一) 線性 (Linear kernel) : $k(x_i, x_j) = x_i \cdot x_j^T$

(二) 多項式 (Polynomial kernel) : $k(x_i, x_j) = (1 + x_i \cdot x_j)^d$

(三) 放射型 (Radial Basis Function kernel) : $k(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2)$

(四) S 型 (Sigmoid kernel) : $k(x_i, x_j) = \tanh(kx_i \cdot x_j - \delta)$

本研究利用 R 語言所提供的 SVM 套件來建立供應商分類模型。SVM 的介紹與演算邏輯可以由 Li, Dong, Xiao, and Xu (2015) 與 Xu, Zhang, Zhu, and Xu (2017) 的研究中找到。由於 SVM 對於資料的分類有優良的效果，因此被廣泛應用於數據分析、影像識別、生物資訊、醫學檢驗等議題中。運用 SVM 分類準確度的概念，將資料維度縮減以達到指標篩選的目的。因此，本研究使用 SVM 來分析出關鍵的綠色供應商評估準則，不但可以降低評估系統的複雜度之外，還可以克服傳統利用文獻彙整或專家意見過於主觀的疑慮。

二、Fuzzy BWM 方法

經過 SVM 的準則篩選出關鍵準則後，由專家意見使用 MCDM 來獲得各準則之主觀權重值。本研究使用 F-BWM 作為準則主觀權重計算的方法，其原因是，問卷設計填寫簡捷之外，計算的成對比較次數也相較 AHP 少 (Rezaei, 2015)，且已被廣泛應用在各領域中並證實具有很好的效果，如供應商選擇 (Gupta & Barua, 2017; Rezaei, Wang, & Tavasszy, 2015)、運輸方式選擇 (Guo & Zhao, 2017)、再生能源選擇 (Gupta, Anand, & Gupta, 2017)。考慮專家意見語意模糊以及不確定資訊的情況下，Guo and Zhao (2017) 提出了 F-BWM 來解決模糊環境下的問題，並且提出了 F-BWM 的一致性比較，結果顯示；F-BWM 比 BWM 獲得更佳的一致性。並可克服專家在評選過程中的模糊語意問題以及資訊不確定性，及獲得模糊最佳權重值因此，因此本研究使用 F-BWM 求解準則之權重，使決策者有更一致的參考依據，詳細說明 F-BWM 的計算步

驟如下所述：

Step1. 依據 SVM 模型建構評估準則

決策準則的建構對執行替代方案的評估非常重要，其可以反映不同替代方案的表現，利用 SVM 篩選出 n 個決策準則，並標示為 $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 。

Step2. 挑選出最佳（最重要）和最差（最不重要）的準則

根據建構的決策準則中，決策者在此步驟中確定最佳（即最滿意或最重要）準則和最差（即最不滿意或最不重要）之準則，且最佳準則表示為 C_B ，最差準則為 C_W 。

Step3. 以最佳準則為基準，產生相對模糊 BO（Best-to-Others）向量

透過表 1，列出的決策者的語意變數，可以確定最佳準則對其他準則的相對模糊值，決策者依照 1-9 的比例尺度給定最佳準則與其他準則的相對重要程度。

並且根據表 1 所示變換規則，將其轉換為三角模糊 BO 向量，其表示如下：

$$\tilde{A}_B = (\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B2}, \dots, \tilde{a}_{Bn}) \quad (3)$$

其中 \tilde{A}_B 表示所有模糊 BO 向量， \tilde{a}_{Bj} 表示最佳準則 c_b 相對其他準則 j 的重要性程度，而最佳準則相對自己的重要性程度為 1，即 $\tilde{a}_{BB} = (1,1,1)$ 。

Step4. 以最差準則為基準，產生相對模糊 OW（Others-to-Worst）向量

類似 BO 求解方法，OW 向量表示如下：

$$\tilde{A}_W = (\tilde{a}_{1W}, \tilde{a}_{2W}, \dots, \tilde{a}_{nW}) \quad (4)$$

其中 \tilde{A}_W 表示所有模糊 OW 向量， \tilde{a}_{jW} 示其他與最差準則間之相對重要程度，而最差準則相對自己的重要性程度為 1，即 $\tilde{a}_{WW} = (1,1,1)$ 。

表 1 決策者填答尺度的轉換規則

填答 尺度	1	2	3	4	5	6	7	8	9
角模 糊數	(1,1,2)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)	(5,6,7)	(6,7,8)	(7,8,9)	(8,9,9)

Step5. 計算各準則之最佳模糊權重值 $(\tilde{w}_1^*, \tilde{w}_2^*, \dots, \tilde{w}_n^*)$

由於 F-BWM 的權重值為三角模糊數值，因此，在求解方面和傳統 BWM 有所不同。本研究將模糊權重值轉換成單一值，其線性規劃 (Linear Programming, LP) 求解模型如下所示：

$$\begin{aligned}
 & \min \quad \xi^* \\
 & \text{s.t.} \quad \left\{ \begin{aligned}
 & \left| \frac{(l_B^w, m_B^w, u_B^w)}{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)} - (l_{Bj}, m_{Bj}, u_{Bj}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\
 & \left| \frac{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)}{(l_W^w, m_W^w, u_W^w)} - (l_{jW}, m_{jW}, u_{jW}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\
 & \sum_{j=1}^n R(\tilde{w}_j) = 1 \\
 & l_j^w \leq m_j^w \leq u_j^w \\
 & l_j^w \geq 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \right. \tag{5}
 \end{aligned}$$

其中 $R(\tilde{w}_j) = \frac{(l_j^w + 4 \cdot m_j^w + u_j^w)}{6}$ ，將方程式 (8) 進行求解後，將獲得各準則之最佳權重

值 $(\tilde{w}_1^*, \tilde{w}_2^*, \dots, \tilde{w}_n^*)$ 。

Step 6. 計算 F-BWM 之一致性 Consistency Ratio (CR)

CR 值是檢驗 F-BWM 在執行成對比較時的一致性的指標。當 $\tilde{\xi}^*$ 越小時，CR 值也會隨著變小，表示 F-BWM 的問卷結果具有較佳的一致性。反之，CR 值偏高時，則應該回到 Step 3，與決策者一同修正 BO 與 OW vectors 的評估值，以達到 CR 值符合 F-BWM 所擬定的要求，如表 2 下所示：

$$CR = \frac{\tilde{\xi}^*}{CI} \quad (6)$$

三、Fuzzy TOPSIS 方法

TOPSIS 技術是目前整合績效值排序最有效的 MCDM 之一。該方法主要是在備選方案組合中找到正與負理想解，透過計算每個備選方案距離於正與負理想解的距離，以確定每個備選方案的相對位置。最佳的替代方案即是最接近正理想解，以及最遠離負理想解。TOPSIS 技術主要是在於理解和操作，並且已經在許多問題中使用 (Cavallaro, Zavadskas, & Raslanas, 2016; Zavadskas, Cavallaro, Podvezko, Ubarte, & Kaklauskas, 2017; You, Guo, Zhao, & Zhao, 2017; Korzeb & Samaniego-Medina, 2019)。本文將 TOPSIS 結合模糊理論來反應映實務評估環境的不確性，以便決策者將不可量化或不完整的資訊納入決策模型中 (Dağdeviren, Yavuz, & Kılınc, 2009)。對於本研究之模糊數與語意變數詳細基本的定義及步驟如下說明：

Step1. 定義符號

假設有 m 個評選方案稱為 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ，且根據 n 個準則 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 進行評估，其準則之權重定義為 $w_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 。每位專家 $D_k (k = 1, 2, \dots, K)$ 對於每個替代方案 $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 中的準則評價等級表示為 $\tilde{R}_k = \tilde{x}_{ijk} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, K)$ ，且表 2 給定了，評選方案的等級尺度。

表 2 F-BWM 的一致性指標 (Consistency index)

a_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
一致性指標	0.00	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

Step2. 計算替代方案中的模糊數值

假定總共有 k 位決策者，且各決策者所訂定之評估值皆為三角模糊數值，且第 k 位決策者的表示方式為 $\tilde{X}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk})$, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, k$ ，而各替代方案中整合專家意見後的模糊數表示為：

$$\tilde{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$$

Where

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, \quad b = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k b_{ijk}, \quad c = \max_k \{c_{ijk}\} \tag{7}$$

Step3. 建構初始模糊矩陣

透過步驟 2，可以將所有的替代方案表示為模糊矩陣，表示如下：

$$\tilde{D} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \\ A_n \end{matrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \tag{8}$$

Step4. 構建正規化模糊決策矩陣

使用線性的方式將各準則的評級尺度轉換為可比較尺度，並且區分為利潤概念（評級尺度越大越佳）以及成本概念（評級尺度越小越佳），且正規化模糊矩陣表示如下：

$$\tilde{R} = [r_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, \tag{9}$$

Where

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \text{ and } c_j^* = \max_i c_{ij} \text{ (benefit criteria)}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \text{ and } a_j^- = \min_i a_{ij} \text{ (cost criteria)}$$

Step5. 構建加權正規化模糊決策矩陣

經由上述步驟正規化之後，考量到各準則之重要程度不同，因此，利用準則評估之權重值(W_j)與正規化的模糊決策矩陣 \tilde{r}_{ij} 相乘來計算準則的加權正規化矩陣，其建構方式如下所示：

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Where

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot)w_j$$

Step6. 獲得模糊正理想解 (FPIS) 和模糊負理想解 (FNIS)

評選方案的模糊正理想解 (FPIS, A^*) 和模糊負理想解 (FNIS, A^-) 計算如下：

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \quad (11)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (12)$$

Where

$$\tilde{v}_j^* = (\tilde{c}_j^*, \tilde{c}_j^*, \tilde{c}_j^*) \text{ and } \tilde{c}_j^* = \max_i \{\tilde{c}_{ij}\}$$

$$\tilde{v}_j^- = (\tilde{a}_j^-, \tilde{a}_j^-, \tilde{a}_j^-) \text{ and } \tilde{a}_j^- = \min_i \{\tilde{a}_{ij}\}$$

$$\forall i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Step7. 計算各方案間模糊正理想解距離(d^*)和模糊負理想解距離(d^-)各方案間模糊正理想解距離和模糊負理想解距離(d_i^+, d_i^-)計算方式如下：

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n dv(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n dv(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

Step8. 計算每個方案的接近係數 (Closeness Coefficient, CC_i)

接近係數同時表示與模糊正理想解(A^*)和模糊負理想解(A^-)的距離。接近係數 CC_i 是一個可靠的排序指數，由 Kuo (2017) 所提出，如方程式 (15)。該排序指數考慮了所有備選方案與正負理想解距離，並且考慮了 FPIS 與 FNIS 的重要度 (w^+ and w^-)，克服了傳統 TOPSIS 的缺點。因為 CC_i 的總和等於 0，所以接近係數 CC_i 具有非常好的判斷基礎。 CC_i 的值範圍為-1 至 1，且以 0 為上下界，當 $CC_i > 0$ ，表示屬於績效較佳的供應商，反之則表示屬於績效較差的供應商。此外，當 CC_i 越接近 1 時，表示越接近期望水準，反之，越接近-1 時，表示績效表現極差。

每個評選方案的接近係數計算如下：

$$CC_i = w^+ \left(\frac{d_i^-}{\sum_{i=1}^m d_i^-} \right) - w^- \left(\frac{d_i^*}{\sum_{i=1}^m d_i^*} \right), \quad \begin{cases} -1 \leq CC_i \leq 1 \\ 0 \leq w^+ \leq 1 \\ 0 \leq w^- \leq 1 \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

Step9. 排序方案

根據 Step8 算出的接近係數(CC_i)對評選方案進行排序，並挑選出最佳方案。

肆、研究討論與分析

本案例探討製造業供應商之評選問題，首先利用資料探勘技術中的 SVM 篩選出對供應商評估影響性較高的準則，再使用 MCDM 評選出最適合的供應商。藉由 SVM 篩選準則可以避免過去由決策者過於主觀的認定，提升客觀性，企業可由分析結果得到影響性較高的關鍵準則，進而提升產業競爭力。

一、準則之篩選

以往在綠色供應商評選的評估準則多數是取自文獻探討，現今許多研究將大量資料的蒐集，透過資料探勘的技術整理分析，可以獲得有價值的資訊，並且對預知資料達到更準確的預測。本案例是台灣某跨國電腦硬體製造公司為個案研究，在 2012 年至 2017 年之間的綠色供應商稽核的基本資料，評估框架為管理系統與有害物質限制 (RoHS) 兩大系統，共有主要評估準則共有 25 個主要評估準則，如表 3 所示。經過篩選出與電腦產品製造適用的研究資料筆數為 250 家為分析樣本。由於該案例公司每年都成立專案、編列預算與人力稽核大量的供應商，期望篩選更具鑑別力的準則，以優化原有的評估系統以提高績效及降低成本。

表 3 個案公司初始綠色供應商評估準則定義說明

準則(C_i)	定義說明
管理系統	
C_1 策劃經營方針與管理計畫	公司品質政策方針、品質目標以及品質職責。
C_2 合約審查	對於新產品或轉移產品的介紹有建立程序(如:建立工作說明書,文件確認清單,設備確認清單,試產前的教導,首件檢查等)。
C_3 教育訓練與人資管理	依不同層級需求制定教育訓練計畫從事特定工作人員,依其教育訓練程度,訓練或經驗之基礎而核定其資格。
C_4 設計開發程序明確規範	設計開發各階段有明確的規劃,並且規劃經適當評審對於客戶需求及變更在設計輸入中有程序規定及記錄。
C_5 工程技術變更、支援快速	工程部門對生產問題的支援程度以及能保證生產遇到的問題快速解決。
C_6 採購與物料管制	對供應商進行認證、定期評審的機制並嚴格實施。採購依據供應商品質評定的結果做決定,並實施採購紀錄。
C_7 不合格品管控	在改進措施要求中包括長期/治本性的改善。如果缺陷與供應商有關,則將資訊反饋到供應商採取措施。
C_8 客訴處理與預防措施	對客戶的抱怨、內部稽核缺失,製程異常等是否有做矯正與預防措施。
C_9 採購與生產控制	供貨商的選擇,評價與變更管理定義明確並留下記錄。生管或是物料控管有依照客戶的訂單作詳細的排程規劃。
C_{10} 製程控制及檢驗	對產品品質、規格參數均設置控點進行嚴格監控。
C_{11} 最終產品控制	對於最終的產品有足夠的檢驗文件、規範、規格書或抽樣計劃。
C_{12} 製程追溯與異常記錄	對所有製程、產品進行有效管控,並在發生品質問題後可以追溯品質紀錄來追查原因。

續下表

續表 3

C ₁₃ 生產設備與儀器校驗	所有線上的檢測設備和儀器定期保養和校正。
C ₁₄ 關鍵零件管理與盤點制度	對易燃、腐蝕和有毒的原材料進行正確的存放和隔離，對庫房產品的狀態進行定期評定。
C ₁₅ 成品可靠性試驗	公司制訂可靠性試驗的文件，針對每項可靠性試驗是否有試驗規範及操作 SOP。
C ₁₆ 客戶支援與服務	建立與客戶間處理品質問題的流程，追溯客戶反映的問題已根本解決。
有害物質限制 (RoHS)	
C ₁₇ 產品環境管理	對環境管理物質進行相關的控制，並定期審查符合公司要求的事項。
C ₁₈ 環境教育訓練	制定了有關產品環境管理的教育培訓的程序規定或是教育訓練計劃。
C ₁₉ 研發設計階段之材料選定	選定零部件、材料進行環境品質相關驗證。
C ₂₀ 進料檢驗	對採購的零部件、材料，進料檢驗時制定其相應之檢驗標準與判定方法。
C ₂₁ 環境管理異常處理	建立環境管理物質的異常處理流程（包括供應商端發現異常、進料檢驗異常、製程異常、出貨成品測試異常、客戶市場端反饋異常等）。
C ₂₂ 綠色供應鏈管理與稽核計畫	對於供應商產品環境品質管理系統定期評價、製定稽核計畫。
C ₂₃ 製程汙染控制	防止生產過程中，一級環境管理物質的混入、汙染的作業程序與執行標準。
C ₂₄ 產品符合綠色規範檢驗	實施有關環境管理物質的確認，並了解製程內有關環境管理物質的履歷。
C ₂₅ 有害物質的存貨管理	長期庫存品在使用前必須確認符合現行的環境管理物質的管理標準之規定。

二、SVM 的建模與演算

將 2012 年至 2017 年之間的綠色供應商稽核的基本資料，可以得到 250×25 的矩陣資料，本研究透過 R 程式語言作為演算工具並利用 SVM 建立分類模型，並且運用分類準確度將資料維度收斂以達到指標篩選標準的目的。將 SVM 的輸入資料結構包含樣本數為 250 家綠色供應商稽核資料，對 25 個指標的績效為研究的基本數據分類及篩選，再以每家供應商的績效達成率依序分為高、中、低三個等級，並以分類概念進行決策。

本研究使用了幾種資料分割的作法，訓練資料與測試資料的組合分別為 90%~10%、80%~20%與 70%~30%，這三種資料分割方法在 SVM 的判斷精準度上沒有明顯的差異。因此，本研究根據 Martin et al. (2012) 與 (Chang, Hsieh, Chang, Ringgaard, & Lin, 2010) 的建議，使用了 80%~20%的資料分割組合來進行後續的演算。由於案例公司不同意涉及披露該公司商業機密資料，故將前 10 筆樣本資料呈現於附錄，如表 A1 所述。

其 SVM 建模篩選概念如下：

- Step1. 將資料進行隨機抽樣 200 筆樣本 (80%) 作為訓練 SVM 模型之資料，其餘的 50 筆樣本 (20%) 作為驗證資料。
- Step2. 先由訓練資料建構 SVM 分類模型，再將測試資料輸入模型內，以利預測分類準確度。
- Step3. 每次輪流剔除一個指標，重新建立分類模型，並記錄分類準確度 $A_i, i = 1, 2, \dots, 25$ 。
- Step4. 計算每個指標對於分類準確度的影響程度 μ_i ，即 $\mu_i = A_{all} - A_i, i = 1, 2, \dots, 25$ 。
- Step5. 若 $\mu_i < 0$ ，表示剔除該指標對於整體分類準確度會上升，但是，在此階段會選擇獲得 μ_i 最小值的準則來剔除，不會一次剔除所有影響程度 < 0 的準則。
- Step6. 將剩餘指標重複步驟 1 至步驟 5，直到全部直到所有的準則之影響程度 $\mu_i \geq 0$ ，則結束篩選。

經由 R 實際操作後，獲得的 SVM 篩選準則的結果，如表 4 所示：

表 4 SVM 篩選準則的結果

Criteria	第一階段 的篩選		第二階段 的篩選		第三階段 的篩選	
	$A_{all}=0.768$		$A_{all}=0.857$		$A_{all}=0.911$	
	A_j	μ_j	A_j	μ_j	A_j	μ_j
C ₁	0.768	0	0.875	-0.018	0.857	0.054
C ₂	0.786	-0.018				
C ₃	0.768	0	0.875	-0.018	0.911	0
C ₄	0.768	0	0.911	-0.054		
C ₅	0.786	-0.018				
C ₆	0.768	0	0.875	-0.018	0.893	0.018
C ₇	0.768	0	0.875	-0.018	0.911	0
C ₈	0.768	0	0.893	-0.036	0.875	0.036
C ₉	0.786	-0.018				
C ₁₀	0.786	-0.018				
C ₁₁	0.786	-0.018				
C ₁₂	0.768	0	0.857	0	0.893	0.018
C ₁₃	0.732	0.036	0.893	-0.036	0.875	0.036
C ₁₄	0.768	0	0.857	0	0.857	0.054
C ₁₅	0.750	0.018	0.839	0.018	0.875	0.036
C ₁₆	0.786	-0.018				
C ₁₇	0.768	0	0.857	0	0.875	0.036
C ₁₈	0.786	-0.018				
C ₁₉	0.768	0	0.821	0.036	0.839	0.071
C ₂₀	0.786	-0.018				
C ₂₁	0.768	0	0.911	-0.054		
C ₂₂	0.768	0	0.875	-0.018	0.893	0.018
C ₂₃	0.768	0	0.821	0.036	0.839	0.071
C ₂₄	0.786	-0.018				
C ₂₅	0.786	-0.018				

表 4 展現了 SVM 的過程與篩選結果。第一階段的 SVM 篩選結果，準則 $C_2, C_5, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{16}, C_{18}, C_{20}, C_{24},$ and C_{25} ，總共 10 個準則，皆小於 0，表示 10 個指標被獨立剔除後，指標則準確度會達到 $A_{all} = 0.786$ ，表示這 10 個準則屬於雜訊因子。因此在下一階段的 SVM 模型中不被納入。第二次 SVM 篩選結果顯示整體準確度 A_{all} 提升至 0.857，整體模型的判斷準確度提升了 8.9% (0.857-0.768)，表示第一階段的準則篩選是有效的，在第二段依照相同的作法，且 $C_1, C_3, C_4, C_6, C_7, C_8, C_{21},$ and C_{22} ，值皆 < 0 ，且 $C_4 = C_{21} < C_{13} = C_8 < C_1 = C_3 = C_6 = C_{22}$ ，因此 C_4 and C_{21} 準則被剔除了。上述表 4 經過三個階段實際演算三次後，SVM 模型以趨近於穩定，總體準確度 A_{all} 達到 0.911，且全部 C_i 值皆大於等於 0，無法再剔除任何準則來提升準確度。因此，最終被保留下來的準則有 13 個，分別是 $C_1, C_3, C_6, C_7, C_8, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{17}, C_{19}, C_{22},$ and C_{23} 。

三、多屬性決策方法

進行多屬性決策評估之前，我們先將 SVM 篩選出來的 13 項關鍵影響準則，分為三大核心構面，依序為：公司管理政策、生產管理與品質管制以及環境保護意識，並建立新綠色供應商評選準則，如下圖 1 所示。

(一) Fuzzy BWM 方法

本研究使用 F-BWM 來獲取企業內部評估供應商的準則權重，F-BWM 評估及計算過程如第三節介紹。以下為實際案例分析之詳細說明：

Step1. 確定評估構面及準則

SVM 篩選完的準則與管理決策者討論後，建構出的綠色供應商評估構面及準則，篩選出 3 個構面及 13 項個準則，如圖 1 示。

Step2. 決定最佳與最差構面及準則

專家透過問卷填答，根據專家主觀評選最佳與最差準則，不同部門之專家對於準則之間的重要強弱關係可能因認知不同而產生差異，如表 5 所示，九位受測專家所評定最佳與最差構面／準則的彙整表。

將模型利用 LINGO 軟體進行求解後，獲得三構面在個別專家權重與整合權重值，如表 6 所示，編號 1 號，專家受測者在供應商評估構面權重，公司管理政策 (\tilde{w}_1) 為 (0.553, 0.660, 0.660)，生產管理與品質管制 (\tilde{w}_2) 為 (0.107, 0.128, 0.135)，環境保護意識 (\tilde{w}_3) 為 (0.158, 0.233, 0.302)，並可得 $w_1 = 0.475$ ； $w_2 = 0.217$ ； $w_3 = 0.308$ ，一致性比例值為 0.075。

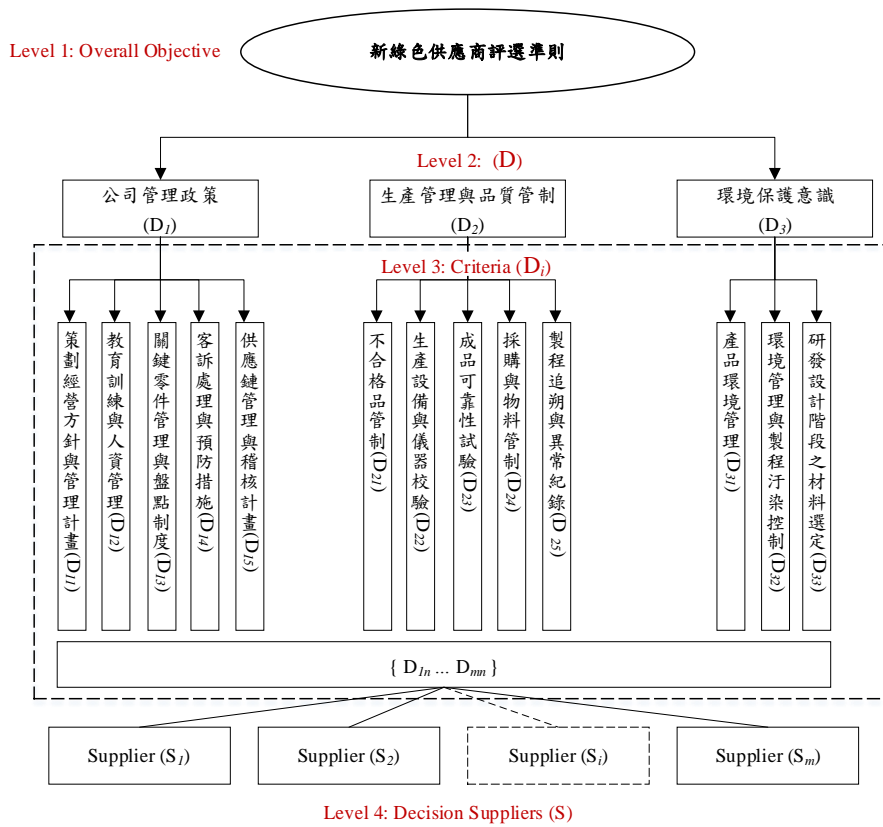


圖 1 綠色供應商評選準則

表 5 九位受測專家評定最佳與最差構面／準則

評估構面(D_i)	最佳構面	最差構面	評估準則(D_{ij})	最佳準則	最差準則
公司管理政策(D_1)	1,2,3,4,5,6,7	-	策劃經營方針與管理計畫(D_{11})	1,3,5	9
			教育訓練與人資管理(D_{12})	2,4,6	-
			關鍵零件管理與盤點制度(D_{13})	-	1,2,3,4,5,6,7,8
			客訴處理與預防措施(D_{14})	-	-
			供應鏈管理與稽核計畫(D_{15})	7,8,9	-
生產管理與品質管制(D_2)	8,9	1,2,3,4,5,6,7	不合格品管控(D_{21})	1,	2,6
			生產設備與儀器校驗(D_{22})	-	3,5,7,9
			成品可靠性試驗(D_{23})	2,3,4,6,7	-
			採購與物料管制(D_{24})	5,8,9	4,
			製程追溯與異常記錄(D_{25})	-	1,8
環境保護意識(D_3)	-	8,9	產品環境管理(D_{31})	-	1,2,3,4,5,6,7,8,9
			環境管理與製程汙染控制(D_{32})	2,3,4,5,6,7,8,9	-
			研發設計階段之材料選定(D_{33})	1	-

註：表格內數字（1-9）為受測專家編號。

表 6 供應商評估構面權重

專家受測 者編號	公司管理政策			生產管理與品質管制			環境保護意識			一致性比例 (C.R.)
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	
1	0.553	0.660	0.660	0.107	0.128	0.135	0.158	0.233	0.302	0.075
2	0.317	0.568	0.568	0.135	0.177	0.177	0.177	0.317	0.377	0.209
3	0.456	0.476	0.476	0.186	0.195	0.317	0.186	0.305	0.476	0.996
4	0.366	0.366	0.486	0.154	0.199	0.315	0.264	0.429	0.437	0.367
5	0.421	0.494	0.605	0.073	0.073	0.073	0.347	0.430	0.494	0.069
6	0.317	0.568	0.568	0.135	0.177	0.177	0.177	0.317	0.377	0.209
7	0.488	0.596	0.679	0.083	0.083	0.083	0.238	0.321	0.426	0.039
8	0.177	0.317	0.377	0.317	0.568	0.568	0.135	0.177	0.177	0.209
9	0.265	0.312	0.422	0.358	0.358	0.490	0.228	0.312	0.312	0.341
加權平均	0.373	0.484	0.538	0.172	0.218	0.260	0.212	0.316	0.375	0.279
解模糊後	0.475			0.217			0.308			

本文依據 Rezaei (2016) 的加權平均方法進行整合，F-BWM 所計算整合後獲得的構面與準則權重如下表 7 所示，評估構面中重要準則為：

1. 公司管理政策為最重要之構面，公司管理政策構面下之策劃經營方針與管理計畫為最重要準則。
2. 生產與管理構面的成品可靠性試驗為影響程度最高之準則。
3. 環境保護意識構面的環境管理與製程汙染控制為最重要影響因素。

由此可知，在綠色供應商評估的 13 項準則中，此三項準則是影響供應商績效最重要影響因素。企業在綠色供應商評選時，可將這三大準則作為改善的三大方向。

表 7 綠色供應商評估構面與準則之權重

評估構面(D_i)	構面 權重	評估準則(D_{ij})	構面下 準則權重	整體 準則權重	排名
公司管理政策 (D_1)	0.475	策劃經營方針與管理計畫(D_{11})	0.269	0.128	2
		教育訓練與人資管理(D_{12})	0.265	0.126	3
		關鍵零件管理與盤點制度(D_{13})	0.079	0.038	11
		客訴處理與預防措施(D_{14})	0.156	0.074	6
		供應鏈管理與稽核計畫(D_{15})	0.231	0.110	5
生產管理 與品質管制 (D_2)	0.217	不合格品管控(D_{21})	0.199	0.043	10
		生產設備與儀器校驗(D_{22})	0.126	0.027	13
		成品可靠性試驗(D_{23})	0.291	0.063	7
		採購與物料管制(D_{24})	0.224	0.049	9
		製程追溯與異常記錄(D_{25})	0.159	0.035	12
環境保護意識 (D_3)	0.308	產品環境管理(D_{31})	0.169	0.052	8
		環境管理與製程汙染控制(D_{32})	0.462	0.143	1
		研發設計階段之材料選定(D_{33})	0.368	0.114	4

每份 F-BWM 問卷的都符合了一致性 (C.R.) 檢定的標準，顯示了決策者的問卷填寫具有一致性。表 7 顯示了 F-BWM 計算的準則模糊權重與解模糊後的權重。排名前五的準則是環境管理與製程汙染控制(D_{32}) > 策略經營方針與管理計畫(D_{11}) > 教育訓練與人資管理(D_{12}) > 研發設計階段之材料選定(D_{33}) > 供應鏈管理與稽核計畫(D_{15})。準則 D_{32} 擁有最高權重值，為 0.143。該準則是隸屬於環境保護維度，表示九位專家對於供應鏈管理的綠色意識是高的。下一小節，我們應用 F-TOPSIS 來彙整各個綠色供應商的績效數據和準則權重。

(二) Modified F-TOPSIS 方法

將 F-BWM 所獲得的模糊權重值進行評估分析，再結合 F-TOPSIS 評估供應商，詳細的演算步驟如下所示：

Step1. 建構初始績效及解模糊矩陣

將供應商各評估的實際績效值，取最小值與最大值，並將最小與最大之平均值最為中間值形成一初始模糊績效矩陣，如表 8 所示，為六家供應商之初始績效。

表 8 供應商績效評估矩陣及準則模糊權重

指標 D_{ij}	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	準則模糊 權重 (\tilde{w}_j)
D_{11}	(.85, .93, 1)	(.75, .86, .98)	(.88, .94, 1)	(.88, .94, 1)	(.98, .99, 1)	(.85, .93, 1)	(.09, .13, .17)
D_{12}	(.80, .88, .91)	(.74, .83, .91)	(.80, .87, .94)	(.86, .93, 1)	(.94, .97, 1)	(.91, .96, 1)	(.07, .13, .17)
D_{13}	(.89, .94, 1)	(.73, .82, .91)	(.84, .91, .98)	(.89, .92, .96)	(.89, .93, .98)	(.89, .94, 1)	(.03, .04, .05)
D_{14}	(.78, .84, .90)	(.76, .84, .92)	(.82, .91, 1)	(.90, .93, .96)	(.92, .95, .98)	(.88, .94, 1)	(.04, .08, .11)
D_{15}	(.65, .83, 1)	(.83, .90, .97)	(.83, .92, 1)	(.83, .88, .93)	(.73, .85, .97)	(.90, .95, 1)	(.07, .11, .15)
D_{21}	(.80, .86, .93)	(.75, .84, .93)	(.80, .90, 1)	(.90, .94, .98)	(.88, .93, .98)	(.93, .96, 1)	(.03, .04, .06)
D_{22}	(.77, .88, 1)	(.77, .88, 1)	(.77, .87, .97)	(.83, .92, 1)	(.87, .93, 1)	(.97, .98, 1)	(.02, .03, .04)
D_{23}	(.80, .87, .93)	(.80, .85, .90)	(.73, .87, 1)	(.87, .93, 1)	(.90, .95, 1)	(.83, .92, 1)	(.04, .06, .09)
D_{24}	(.48, .67, .87)	(.77, .82, .87)	(.83, .92, 1)	(.87, .93, 1)	(.58, .78, .97)	(.77, .87, .97)	(.03, .05, .07)
D_{25}	(.86, .91, .96)	(.72, .83, .94)	(.87, .93, .99)	(.96, .97, .98)	(.89, .94, .99)	(.95, .97, .99)	(.02, .03, .05)
D_{31}	(.83, .83, .83)	(.83, .86, .90)	(.90, .94, .98)	(.93, .96, 1)	(.90, .94, .98)	(.88, .94, 1)	(.03, .05, .08)
D_{32}	(.73, .82, .90)	(.73, .85, .97)	(.87, .93, 1)	(.93, .97, 1)	(.97, .98, 1)	(.93, .97, 1)	(.08, .15, .19)
D_{33}	(.85, .88, .90)	(.85, .90, .95)	(.85, .93, 1)	(.95, .98, 1)	(.95, .98, 1)	(.93, .97, 1)	(.05, .12, .17)

Step2. 將模糊矩陣進行加權

由於初始矩陣之值已經介於 0 至 1 之間，因此，不需再進行正規化的步驟，直接將初始績效矩陣與對應之模糊權重相乘，計算出之加權模糊矩陣。

Step3. 計算各供應商評估值與正負理想解之距離

計算上一步驟所計算出之加權模糊評估值與對應之正負理想解相對距離，計算出的 13 項準則正負理想解，然後根據方程式 (11, 12) 計算出供應商評估值與正負理想解之距離，如表 9-10 所示。

Step4. 計算六家供應商之相鄰係數 CC_i 並進行排序

利用步驟三計算所得到之供應商評估值與正負理想之距離後，可計算出相鄰係數 CC_i ，並且依據相鄰係數作進一步的供應商排序，如表 11 所示。

接近係數 CC_i 的值域為 -1 至 1 之間，當合作夥伴 S_i 的 CC_i 值大於 0，表示在所有評估的供應商中，是屬於績效表現較佳的那一群組，因為他們評估結果較接近 1 值。如表 11 顯示了，結合 F-BWM 與 F-TOPSIS 計算結果之 CC_i 資訊可得知供應商 6 為最佳選擇，評選後的優先順序為 $S_6 > S_5 > S_4 > S_3 > S_2 > S_1$ 。為了避免過於極端的立場，因此，排序公式 (CC_i) 之係數 W^+ 及 W^- 皆使用 0.5，排序更為客觀。雖然 S_6 是排序第一名的供應商，但總體的評估績效依然，還有很大的進步空間。如第三節一三、Step8 之 (Closeness Coefficient, CC_i) 所述，改良的 F-TOPSIS 克服了傳統的 TOPSIS 僅考慮個別供應商與正負理想解的距離，而使得所計算的排序指數 (Ranking Index) 必定為正值，並未考慮其他備選方案的相對距離。本文提出的模型可以克服上述的缺點，並且可以提供更多可靠的管理意涵。

表 9 供應商評估值與正理想解之距離

準則(D_{ij})	$d(S_1, A^*)$	$d(S_2, A^*)$	$d(S_3, A^*)$	$d(S_4, A^*)$	$d(S_5, A^*)$	$d(S_6, A^*)$
D_{11}	0.0595	0.0662	0.0580	0.0580	0.0519	0.0595
D_{12}	0.0714	0.0745	0.0706	0.0665	0.0619	0.0634
D_{13}	0.0173	0.0208	0.0182	0.0176	0.0174	0.0173
D_{14}	0.0535	0.0537	0.0507	0.0487	0.0478	0.0488
D_{15}	0.0657	0.0570	0.0565	0.0577	0.0625	0.0531
D_{21}	0.0290	0.0300	0.0284	0.0266	0.0271	0.0259
D_{22}	0.0197	0.0197	0.0198	0.0188	0.0184	0.0171
D_{23}	0.0382	0.0387	0.0394	0.0353	0.0343	0.0364
D_{24}	0.0388	0.0322	0.0292	0.0284	0.0353	0.0310
D_{25}	0.0242	0.0266	0.0238	0.0225	0.0235	0.0226
D_{31}	0.0352	0.0341	0.0317	0.0309	0.0317	0.0320
D_{32}	0.0891	0.0871	0.0783	0.0743	0.0723	0.0743
D_{33}	0.0818	0.0805	0.0796	0.0753	0.0753	0.0760

表 10 供應商評估值與負理想解之距離

準則(D_{ij})	$d(S_1, A^-)$	$d(S_2, A^-)$	$d(S_3, A^-)$	$d(S_4, A^-)$	$d(S_5, A^-)$	$d(S_6, A^-)$
D_{11}	0.0668	0.0623	0.0674	0.0674	0.0699	0.0668
D_{12}	0.0668	0.0657	0.0698	0.0768	0.0788	0.0781
D_{13}	0.0204	0.0168	0.0195	0.0191	0.0198	0.0204
D_{14}	0.0433	0.0444	0.0504	0.0486	0.0501	0.0510
D_{15}	0.0642	0.0643	0.0673	0.0614	0.0623	0.0687
D_{21}	0.0241	0.0239	0.0270	0.0266	0.0265	0.0278
D_{22}	0.0174	0.0174	0.0165	0.0176	0.0177	0.0180

續下表

續表 10

D_{23}	0.0330	0.0312	0.0362	0.0373	0.0376	0.0369
D_{24}	0.0280	0.0301	0.0363	0.0367	0.0329	0.0343
D_{25}	0.0228	0.0213	0.0237	0.0239	0.0238	0.0241
D_{31}	0.0251	0.0285	0.0325	0.0338	0.0325	0.0334
D_{32}	0.0751	0.0830	0.0899	0.0917	0.0926	0.0917
D_{33}	0.0700	0.0752	0.0803	0.0820	0.0820	0.0817

表 11 供應商評估準則 CC_i 及排序

	d_i^+	d_i^-	CC_i	供應商排序
S_1	0.623	0.557	-0.0120	6
S_2	0.621	0.564	-0.0110	5
S_3	0.584	0.617	0.0019	4
S_4	0.561	0.623	0.0061	3
S_5	0.559	0.626	0.0068	2
S_6	0.557	0.633	0.0079	1

伍、研究討論與實務意涵

本研究利用資料探勘方法能夠從大量資料中蒐集有用的資訊，並獲得關鍵影響指標，再將綠色指標納入考量，運用 SVM 篩選出關鍵績效指標，透過分類準確度達到維度縮減的目的再結合 MCDM，以達到長期的績效值來評選供應商。根據研究結果，本研究提出以下管理意涵：

本研究利用資料探勘可以有效降低資料維度，保留關鍵評選指標，提供決策者在評選供應商作業的效率與準確率。本研究藉由資料探勘縮減評估準則項目，可以使廠商集中其資源於所篩減出之 13 項準則進行查核，而不必如以往對 25 項準則實施稽核，如此可以大幅降低稽核的時間與人力成本。此外，無論從綠色供應商績效評選或

成本角度考慮，任何一家公司都不能獨自面對當前產業快速變革的要求。選擇優良的綠色供應商可以加速各種技術、綠色資源和公司利基在市場上的整合，形成一個共享綠色共應鏈目標的靈活指揮網絡系統，這比單獨作戰要有競爭力。

根據本研究框架所提出的 13 個準則評估架構中，在各準則權重評估上，根據表 7 可知，公司管理政策在評估供應商時是最為重要的構面，其構面中又以策劃經營方針與管理計畫為首重要的評估準則，教育訓練與人資管理為次重要之準則；然而，環境保護意識構面為位居第二重要的評估構面，但在該構面下之環境管理與製程汙染控制卻是整體最重要的準則，由此可知，以前在選擇購買產品或廠商時，一般只會專注挑選品質較佳或是成本較低的為優先考量，但經過實證案例研究顯示，案例企業決策者在評估供應商時，反而會更重視該公司的管理政策是否優良，以及其產品在製程過程對汙染控制程度，作為合作的對象。本研究顯示在評估綠色供應商的 13 項準則重要度排序如下：環境管理與製程汙染控制(D_{32}) > 策劃經營方針與管理計畫(D_{11}) > 教育訓練與人資管理(D_{12}) > 研發設計階段之材料選定(D_{33}) > 供應鏈管理與稽核計畫(D_{15}) > 客訴處理與預防措施(D_{14}) > 成品可靠性試驗(D_{23}) > 產品環境管理(D_{31}) > 採購與物料管制(D_{24}) > 不合格品管控(D_{21}) > 關鍵零件管理與盤點制度(D_{13}) > 製程追溯與異常記錄(D_{25}) > 生產設備與儀器校驗(D_{22})。

在各供應商績效評估表現上，根據資訊可知，供應商最終排序為： $S_6 > S_5 > S_4 > S_3 > S_2 > S_1$ ，然而，在 13 項準則之最佳供應商中 S_5 佔了 6 項， S_6 只佔了 5 項，這表明了雖然在績效表現上 S_5 優於 S_6 ，但考量到專家權重的績效部分，所以，最終績效值結果為 S_6 優於 S_5 ，表示專家權重需要被採納的重要性。 S_4 在績效表現上有 4 項準則為最佳且沒有一項準則為最差，因此，僅位居第三；而 S_3 表現平穩，在各準則中沒有最優秀績效，但在生產設備與儀器校驗準則中為最差供應商，因此， S_3 需針對此項準則進行改善； S_2 與 S_1 之評估值，可顯見在所有準則中的評估值皆偏差，在 13 項準則之最差供應商中 S_2 佔了 7 項， S_1 佔了 6 項。由於構面一與構面三為專家評定較重要之構面，而在這兩構面中 S_1 佔的比例大於 S_2 ，因此，最終排序 S_1 為最差之供應商，故 S_1 及 S_2 應針對各項評估值偏差之準則需進行大幅改善作業，才能使該企業提升競爭力，否則或許將從目前的供應商名單中遭到剔除。在個案的實證分析評估上，根據表 11 得知，經 MF-TOPSIS 的計算結果之 CC_i 資訊亦顯見，供應商 S_6 為最佳選擇，驗證了本研究所提出的模型在最終排序之結果。

MF-TOPSIS 的排序中，將方案離負理想解的距離權重比例最大，表示只要該方案離負標竿解最遠為最佳，反之最差原則將方案離正理想解的距離權重比例最大，表示該方案越靠近正理想解為最佳，利用此兩種不同的理念進行個案的排序敏感度分析。為了確保無過於極端的立場，最終排序結果所使用的 w^+ 及 w^- 皆為 0.5；然而，為了驗

證本研究所提出的模型穩健性，因此，將最終排序的部分，將排序之 w^+ 及 w^- 作權重的變化，如表 12 所示，供應商排序敏感度分析之結果。

F-TOPSIS，也能夠看出方案較接近哪一個標竿解，由圖 2 根據原始個案分析結果可以看出 S_1, S_2 之 CC_i 值皆小於 0，表示該兩間供應商之績效排序是偏低的，且所有方案之 CC_i 值之總和應為 0 的情況下，明顯表示 S_1, S_2 為整體較差之供應商，因此，建議 S_1, S_2 應該針對較差之準則進行改善，將供應商之績效提升以增加企業競爭力。此外，雖然 S_6 為表現較佳的供應商，但是它在環境管理與製程污染控制(D_{32})、策劃經營方針與管理計畫(D_{11})以及教育訓練與人資管理(D_{12})等項目，距離標竿值都尚有若干差距需要持續努力改善（如表 9 所示），以繼續保持領先的地位。

陸、結論與未來研究

利用資料探勘方法經過 SVM 進行準則篩選，有效縮減評估準則，剔除影響性低的準則，使得研究模型更加穩健外，也能提升客觀性。因此，本研究解決過去以文獻或專家意見認定準則，過於主觀的疑慮。本研究模型利用 SVM 結合 MCDM 方法來說明評估綠色供應商評選的實用性與有效性，最終結果可使企業或決策者做出客觀且準確的決策，本文相關貢獻分述如下：

- (一) 本研究採用 SVM 作指標篩選，由於 SVM 在分類效果上有很好的效果，因此，透過分類準確度之概念將原本個案中 25 項指標進行維度縮減到 13 項準則，利用資料探勘的方式，改變以往透過文獻彙整準則更能夠符合實際效益，減少查核項目與成本，也更客觀。
- (二) 透過專家問卷進行評估，利用 F-BWM 計算出準則主觀權重，使最終分析結果更符合公司求。
- (三) 驗證結果顯示；本研究的評估模型不會受到過於極端的立場而影響，也表明此研究模型的穩健度是足夠的。
- (四) 本研究結合 SVM、F-BWM、MF-TOPSIS 等之方法分析，同時考慮長期的資料分析客觀，以及結合專家的經驗與個案公司之需求，雖然以綠色供應商評選為案例進行探討，但本研究之模型亦可應用在其他領域進行分析。

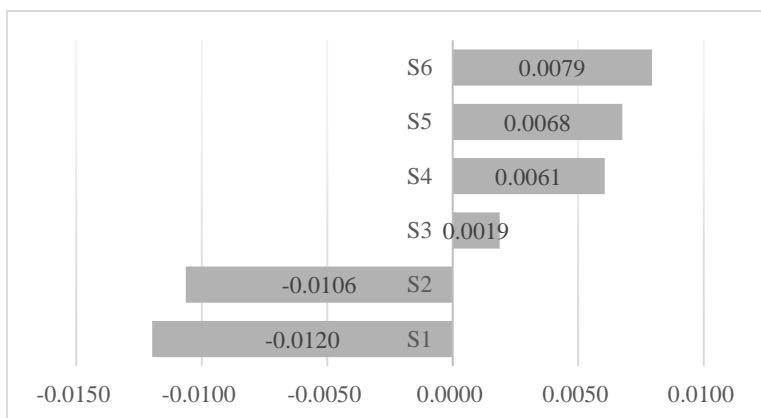


圖 2 供應商排序 CC_i 值

表 12 供應商排序敏感度分析

	d_i^+	d_i^-	$w^+ = w^- = 0.5$		$w^+ = 0.9, w^- = 0.1$		$w^+ = 0.1, w^- = 0.9$	
			CC_i	Rank	CC_i	Rank	CC_i	Rank
S_1	0.623	0.557	-0.0120	6	0.1207	6	-0.1446	6
S_2	0.621	0.564	-0.0110	5	0.1226	5	-0.1438	5
S_3	0.584	0.617	0.0019	4	0.1367	4	-0.1329	4
S_4	0.561	0.623	0.0061	3	0.1388	3	-0.1267	3
S_5	0.559	0.626	0.0068	2	0.1398	2	-0.1263	2
S_6	0.557	0.633	0.0079	1	0.1415	1	-0.1256	1

本研究雖然有若干成果，但仍有以下建議做為未來研究之方向。MCDM 決策的方法非常多，其各有不同的理念以及適用性，本研究建立在各準則間互相獨立的情形之下，因此，並未考慮指標之間有相互影響的關係存在，後續研究工作則建議可以使用不同的 MCDM 來評選綠色供應鏈之合作夥伴績效，例如：使用 DEMATEL-based ANP (DANP)。此外，本研究使用模糊值來整合不同的專家意見，在其他的群體決策方法也是考慮的方向，例如 Rough number。最後，本研究以電子產業為案例探討，未來期望能應用在不同領域中，以驗證模型之通用性。

參考文獻

一、英文部分

1. Aizerman, M. A. (1964). Theoretical foundations of the potential function method in pattern recognition learning. Automation and Remote Control, 25, 821-837.
2. Akcan, S., & Taş, M. A. (2019). Green supplier evaluation with SWARA-TOPSIS integrated method to reduce ecological risk factors. Environmental Monitoring and Assessment, 191(12), 736.
3. Bai, C., & Satir, A. (2020). Barriers for green supplier development programs in manufacturing industry. Resources, Conservation and Recycling, 158, 104756.
4. Bakeshlou, E. A., Khamseh, A. A., Asl, M. A. G., Sadeghi, J., & Abbaszadeh, M. (2017). Evaluating a green supplier selection problem using a hybrid MODM algorithm. Journal of Intelligent Manufacturing, 28(4), 913-927.
5. Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E., & Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. Computers & Operations Research, 89, 337-347.
6. Çankaya, S. Y., & Sezen, B. (2019). Effects of green supply chain management practices on sustainability performance. Journal of Manufacturing Technology Management, 30(1), 98-121.
7. Cavallaro, F., Zavadskas, E. K., & Raslanas, S. (2016). Evaluation of combined heat and power (CHP) systems using fuzzy shannon entropy and fuzzy TOPSIS. Sustainability, 8(6), 556.
8. Chang, Y. W., Hsieh, C. J., Chang, K. W., Ringgaard, M., & Lin, C. J. (2010). Training and testing low-degree polynomial data mappings via linear SVM. Journal of Machine Learning Research, 11(4), 1471-1490.
9. Dağdeviren, M., Yavuz, S., & Kılınç, N. (2009). Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 36(4), 8143-8151.

10. Danese, P., Romano, P., & Formentini, M. (2013). The impact of supply chain integration on responsiveness: The moderating effect of using an international supplier network. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 49(1), 125-140.
11. Ecer, F. (2020). Multi-criteria decision making for green supplier selection using interval type-2 fuzzy AHP: A case study of a home appliance manufacturer. Operational Research, 1-35.
12. Fallahpour, A., Wong, K. Y., Rajoo, S., & Mardani, A. (2019). An integrated fuzzy carbon management-based model for suppliers' performance evaluation and selection in green supply chain management. International Journal of Fuzzy Systems, 1-12.
13. Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. Knowledge-Based Systems, 121, 23-31.
14. Gupta, H., & Barua, M. K. (2017). Supplier selection among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS. Journal of Cleaner Production, 152, 242-258.
15. Gupta, P., Anand, S., & Gupta, H. (2017). Developing a roadmap to overcome barriers to energy efficiency in buildings using best worst method. Sustainable Cities and Society, 31, 244-259.
16. Haeri, S. A. S., & Rezaei, J. (2019). A grey-based green supplier selection model for uncertain environments. Journal of Cleaner Production, 221, 768-784.
17. Hamdan, S., & Cheaitou, A. (2017). Supplier selection and order allocation with green criteria: An MCDM and multi-objective optimization approach. Computers & Operations Research, 81, 282-304.
18. Jassim, S., Al-Mubarak, M., & Hamdan, A. (2020). The impact of green supply chain management on firm's performance. Journal of Information & Knowledge Management, 19(01), 2040026.
19. Jayant, A., & Agarwal, A. (2019). A novel hybrid MCDM approach based on DEMATEL, AHP and TOPSIS to evaluate green suppliers. Journal of Physics: Conference Series, 1240(1), 012010. IOP Publishing.
20. Jiang, P., Hu, Y. C., Yen, G. F., & Tsao, S. J. (2018). Green supplier selection for

sustainable development of the automotive industry using grey decision-making. Sustainable Development, 26(6), 890-903.

21. Kavakiotis, I., Tsave, O., Salifoglou, A., Maglaveras, N., Vlahavas, I., & Chouvarda, I. (2017). Machine learning and data mining methods in diabetes research. Computational and Structural Biotechnology Journal, 15, 104-116.
22. Korzeb, Z., & Samaniego-Medina, R. (2019). Sustainability performance: A comparative analysis in the polish banking sector. Sustainability, 11(3), 653.
23. Kumar, D., Rahman, Z., & Chan, F. T. (2017). A fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming model for order allocation in a sustainable supply chain: A case study. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 30(6), 535-551.
24. Kuo, T. (2017). A modified TOPSIS with a different ranking index. European Journal of Operational Research, 260(1), 152-160.
25. Li, P., Dong, L., Xiao, H., & Xu, M. (2015). A cloud image detection method based on SVM vector machine. Neurocomputing, 169, 34-42.
26. Li, X., Wu, S., Li, X., Yuan, H., & Zhao, D. (2020). Particle swarm optimization-support vector machine model for machinery fault diagnoses in high-voltage circuit breakers. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 33(1), 1-10.
27. Lin, Y. F., Huang, C. F., & Tseng, V. S. (2017). A novel methodology for stock investment using high utility episode mining and genetic algorithm. Applied Soft Computing, 59, 303-315.
28. Liu, A., Xiao, Y., Ji, X., Wang, K., Tsai, S. B., Lu, H., Cheng, J., Lai, X., & Wang, J. (2018). A novel two-stage integrated model for supplier selection of green fresh product. Sustainability, 10(7), 2371.
29. Lo, H. W., Liou, J. J., Wang, H. S., & Tsai, Y. S. (2018). An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation. Journal of Cleaner Production, 190, 339-352.
30. Luo, J., Yan, X., & Tian, Y. (2020). Unsupervised quadratic surface support vector machine with application to credit risk assessment. European Journal of Operational Research, 280(3), 1008-1017.

31. Lv, S. (2020). Construction of marine ship automatic identification system data mining platform based on big data. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, *38*(2), 1249-1255.
32. Ma, W., Lei, W., & Sun, B. (2020). Three-way group decisions under hesitant fuzzy linguistic environment for green supplier selection. Kybernetes, *49*(12), 2919-2945.
33. Martin, T. M., Harten, P., Young, D. M., Muratov, E. N., Golbraikh, A., Zhu, H., & Tropsha, A. (2012). Does rational selection of training and test sets improve the outcome of QSAR modeling? Journal of Chemical Information and Modeling, *52*(10), 2570-2578.
34. Pan, Y., Zhang, L., Wu, X., & Skibniewski, M. J. (2020). Multi-classifier information fusion in risk analysis. Information Fusion, *60*, 121-136.
35. Peng, B., Tu, Y., Elahi, E., & Wei, G. (2018). Extended producer responsibility and corporate performance: Effects of environmental regulation and environmental strategy. Journal of Environmental Management, *218*, 181-189.
36. Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. Omega, *53*, 49-57.
37. Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. Omega, *64*, 126-130.
38. Rezaei, J., Wang, J., & Tavasszy, L. (2015). Linking supplier development to supplier segmentation using best worst method. Expert Systems with Applications, *42*(23), 9152-9164.
39. Rouyendegh, B. D., Yildizbasi, A., & Üstünyer, P. (2020). Intuitionistic fuzzy TOPSIS method for green supplier selection problem. Soft Computing, *24*(3), 2215-2228.
40. Sellitto, M. A., Hermann, F. F., Blezs Jr, A. E., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2019). Describing and organizing green practices in the context of green supply chain management: Case studies. Resources, Conservation and Recycling, *145*, 1-10.
41. Shahzad, F., Du, J., Khan, I., Shahbaz, M., Murad, M., & Khan, M. A. S. (2020). Untangling the influence of organizational compatibility on green supply chain management efforts to boost organizational performance through information technology capabilities. Journal of Cleaner Production, *266*, 122029.

42. Sharma, M., Singh, G., & Singh, R. (2017). Stark assessment of lifestyle based human disorders using data mining based learning techniques. IRBM, 38(6), 305-324.
43. Shimomura, Y., Nemoto, Y., Ishii, T., & Nakamura, T. (2018). A method for identifying customer orientations and requirements for product-service systems design. International Journal of Production Research, 56(7), 2585-2595.
44. Tian, X., & Sarkis, J. (2020). Expanding green supply chain performance measurement through emergy accounting and analysis. International Journal of Production Economics, 225, 107576.
45. Tseng, M. L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, S. (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. Resources, Conservation and Recycling, 141, 145-162.
46. Tseng, M. L., Lim, M., Wu, K. J., Zhou, L., & Bui, D. T. D. (2018). A novel approach for enhancing green supply chain management using converged interval-valued triangular fuzzy numbers-grey relation analysis. Resources, Conservation and Recycling, 128, 122-133.
47. Winn, S. F., & Roome, N. J. (1993). R&D management responses to the environment: Current theory and implications to practice and research. R&D Management, 23(2), 147-160.
48. Xu, G., Zhang, M., Zhu, H., & Xu, J. (2017). A 15-gene signature for prediction of colon cancer recurrence and prognosis based on SVM. Gene, 604, 33-40.
49. Yang, Z., & Lin, Y. (2020). The effects of supply chain collaboration on green innovation performance: An interpretive structural modeling analysis. Sustainable Production and Consumption, 23, 1-10.
50. Yanqiang, S., Hongfang, C., Zhaoyao, S., & Liang, T. (2020). A novel bevel gear fault diagnosis method based on ensemble empirical mode decomposition and support vector machines. Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 62(1), 34-41.
51. Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Zolfani, S. H. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. Journal of Cleaner Production, 142, 3728-3740.

52. You, P., Guo, S., Zhao, H., & Zhao, H. (2017). Operation performance evaluation of power grid enterprise using a hybrid BWM-TOPSIS method. Sustainability, 9(12), 2329.
53. Zavadskas, E. K., Cavallaro, F., Podvezko, V., Ubarte, I., & Kaklauskas, A. (2017). MCDM assessment of a healthy and safe built environment according to sustainable development principles: A practical neighborhood approach in Vilnius. Sustainability, 9(5), 702.
54. Zhang, L., Chen, Z., Su, J., & Li, J. (2019). Data mining new energy materials from structure databases. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 107, 554-567.
55. Zhao, R., Liu, Y., Zhang, N., & Huang, T. (2017). An optimization model for green supply chain management by using a big data analytic approach. Journal of Cleaner Production, 142, 1085-1097.
56. Zhu, W., & He, Y. (2017). Green product design in supply chains under competition. European Journal of Operational Research, 258(1), 165-180.

109 年 07 月 27 日收稿

109 年 08 月 10 日初審

109 年 09 月 14 日複審

109 年 10 月 27 日接受

附錄

表 A1 SVM 之前 10 筆輸入資料

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
C ₁	0.950	0.925	0.950	0.850	0.975	0.875	0.850	0.950	0.825	0.800
C ₂	0.933	0.900	0.900	0.933	0.867	0.900	0.800	0.933	0.933	0.867
C ₃	0.886	0.857	0.914	0.943	0.857	0.914	0.800	0.943	0.914	0.886
C ₄	0.764	0.891	0.927	0.909	0.909	0.927	0.909	0.982	0.945	0.855
C ₅	0.933	0.900	0.900	0.900	0.867	0.900	0.900	0.900	0.967	0.767
C ₆	0.889	0.822	0.867	0.933	0.889	0.911	0.889	0.956	0.978	0.778
C ₇	0.920	0.780	0.860	0.900	0.820	0.820	0.780	0.860	0.920	0.780
C ₈	0.800	0.833	0.867	0.700	0.833	0.867	0.675	0.933	0.867	0.800
C ₉	0.880	0.880	0.880	0.840	0.900	0.880	0.860	0.900	0.900	0.820
C ₁₀	0.873	0.836	0.891	0.855	0.800	0.873	0.909	0.927	0.855	0.836
C ₁₁	0.886	0.886	0.886	0.857	0.886	0.886	0.857	0.914	0.829	0.771
C ₁₂	0.975	0.900	0.900	0.925	0.925	0.900	0.825	0.900	0.925	0.875
C ₁₃	0.833	0.867	0.900	0.933	0.900	0.833	0.900	0.900	0.833	0.867
C ₁₄	0.900	0.867	0.867	0.867	0.900	0.867	0.800	0.900	0.800	0.833
C ₁₅	0.867	0.867	0.900	0.542	0.800	0.867	0.479	0.933	0.733	0.767
C ₁₆	0.900	0.833	0.867	0.900	0.867	0.900	0.800	1.000	0.833	0.833
C ₁₇	0.964	0.982	0.964	0.927	0.955	0.909	0.855	0.964	0.900	0.891
C ₁₈	1.000	0.933	1.000	1.000	1.000	0.933	0.800	0.867	0.933	0.867
C ₁₉	0.925	0.925	1.000	0.950	0.875	0.925	0.825	0.925	0.875	0.900
C ₂₀	0.971	0.886	0.857	0.914	0.914	0.829	0.800	0.857	0.943	0.857
C ₂₁	0.900	0.900	0.950	0.925	0.900	1.000	0.700	1.000	0.825	0.925
C ₂₂	0.867	0.933	1.000	0.967	0.900	1.000	0.800	1.000	0.933	0.900
C ₂₃	0.950	0.750	0.700	1.000	0.950	0.500	0.850	0.750	0.950	0.950
C ₂₄	0.933	0.933	1.000	0.900	0.867	1.000	0.833	1.000	0.967	0.933
C ₂₅	1.000	0.950	0.700	1.000	0.950	0.900	0.800	1.000	1.000	0.950
<i>Decision</i>	H	H	H	H	H	H	M	H	H	M

作者介紹

Author's Introduction

姓名 張木興
Name Mu-Hsing Chang
服務單位 國立臺北科技大學工商管理研究所博士研究生
Department Doctoral Graduate Student, Institute of Industrial and Business Management, National Taipei University of Technology
聯絡地址 106 台北市大安區忠孝東路三段 1 號
Address No.1, Sec. 3, Zhongxiao E. Rd., Taipei 10608 Taiwan
E-mail 102emba01iem@gmail.com
專長 綠色供應商績效管理、資材管理
Speciality Green Supplier Performance Management, Logistics Management

姓名 劉建浩
Name James J. H. Liou
服務單位 國立臺北科技大學工業工程與管理系教授
Department Professor, Department of Industrial Engineering and Management, National Taipei University of Technology
聯絡地址 106台北市大安區忠孝東路三段1號
Address No.1, Sec. 3, Zhongxiao E. Rd., Taipei 10608 Taiwan
E-mail jamesjhliou@gmail.com
專長 多目標決策、安全管理、服務品質
Speciality Multi-Objective Decision-Making Method (MODM), Safety Management, Service Quality Management

姓名 羅懷暉
Name Hui-Wei Lo
服務單位 國立臺北科技大學工業工程與管理系博士後研究
Department Doctor, Department of Industrial Engineering and Management, National Taipei University of Technology
聯絡地址 413310 臺中市霧峰區吉峰東路 168 號朝陽科技大學秘書處
Address No.168, Jifeng E. Rd., Wufeng District, Taichung, 413310 Taiwan, R.O.C.
E-mail w110168888@gmail.com
專長 多準則決策制定、風險管理、供應鏈管理、永續性
Speciality Multi-criteria Decision-Making (MCDM), Risk Assessment, Supply Chain Management, Sustainability

姓名 徐敏喜
Name Min-His Hsu
服務單位 國立臺北科技大學工業工程與管理系碩士班研究生
Department Graduate Student, Department of Industrial Engineering and Management, National Taipei University of Technology
聯絡地址 10608 台北市忠孝東路三段一號
Address No.1, Sec. 3, Zhongxiao E. Rd., Taipei 10608 Taiwan
E-mail t105378042@ntut.org.tw
專長 多準則決策制定、供應鏈管理
Speciality Multi-Criteria Decision-Making (MCDM), Supply Chain Management