

多層網絡模型於整合書目關係之 探討：以圖書資訊學領域之作者 層級分析為例

Integrating Bibliographic Relations Using a Multilayer
Network Model: An Author-Level Analysis of Library
and Information Science

蕭宗銘*

Tsung-Ming Hsiao

淡江大學資訊與圖書館學系助理教授

Assistant Professor

Department of Information and Library Science

Tamkang University

【摘要 Abstract】

多層網絡模型，係指透過層間連結整合多個單層網絡。本研究以圖書資訊學領域之56,969篇文獻，以合著、作者共被引、作者書目耦合等關係建立作者關係網絡，比較各網絡及整合之多層網絡中，其結構、核心作者與研究社群之特徵及同群作者之研究主題相似度。結果顯示，三種單層網絡所辨識之核心作者與其重要性排序存在明顯差異。多層作者網絡能整合不同單層網絡之視角，所辨識之同群作者在研究主題一致性上較高。本研究主要貢獻在於探討多層網絡模型於整合不同書目關係網絡之可能性，未來可進一步探討各單層網絡之權重正規化，以提升模型穩健性與應用潛力，並驗證其於其他學科及不同分析單位上的適用性。

*通訊作者：蕭宗銘 162228@o365.tku.edu.tw

投稿日期：2026年2月8日；接受日期：2026年4月21日

Multilayer network models integrate multiple single-layer networks through inter-layer links. Using 56,969 publications in Library and Information Science, this study constructs author networks based on co-authorship, author co-citation, and author bibliographic coupling. This study compares the structures, key authors, and research communities of these networks and the integrated multilayer network, and examines topical similarity among authors. Results show clear differences in the key authors and importance rankings identified by the three single-layer networks. The multilayer author network integrates perspectives across layers, and authors assigned to the same group exhibit higher topical consistency. This study contributes by exploring the potential of multilayer network models for integrating heterogeneous bibliographic relation networks. Future research may further examine layer-weight normalization to improve model robustness and applicability, and validate the framework across other disciplines and analytical units.

【 關鍵詞 Keywords 】

作者網絡；網絡分析；多層網絡

Author Network; Network Analysis; Multilayer Network

壹、緒論

書目計量學 (bibliometrics) 廣泛使用網絡分析 (network analysis) 技術，以之分析學術領域之主題發展 (Alipour, Soheili, & Khasseh, 2022; Smojver, Štorga, & Zovak, 2021)、重要著作 (Hota, Subramanian, & Narayanamurthy, 2020; Yang, Xing, & Wolfram, 2018)、核心作者 (Yang, Han, Wolfram, & Zhao, 2016; Zhao & Strotmann, 2008c, 2014) 等方向。而書目計量學發展迄今，已提出使用引用關係、合著關係等多種不同之關係，如書目耦合 (bibliographic coupling) (Kessler, 1963)、共被引 (co-citation) (Marshakove-Shaikovitch, 1973; Small, 1973)，並以此架構著作 (Kessler, 1963; Marshakove-Shaikovitch, 1973; Small, 1973)、作者 (White & Griffith, 1981; Zhao & Strotmann, 2008a)、主題 (Hsiao & Chen, 2020) 等實體間之關係網絡，以分析學術領域之發展情形。而相關研究於分析不同方式架構之實體關係網絡後，指出經由不同方式架構之實體關係網絡，所呈現之學術領域樣貌有所差異 (Boyack & Klavans, 2010; Qiu, Dong, & Yu, 2014; Shibata, Kajikawa, Takeda, & Matsushima, 2009; Yan & Ding, 2012; Zhao & Strotmann, 2008a, 2008b)。為取得對學術領域之發展情形的完整視角，現行研究使用同時分析多個單一關係網絡 (monoplex network)，以期納入多種不同角度之分析結果。

於網絡分析領域中，近年來則提出經由建立同一節點在不同網絡中的層間連結 (inter-layer link) 串聯多個單一關係網絡，以此建立多層網絡 (multilayer network) 模型。多層網絡模型於整合多個單一關係網絡之後，可於分析節點、群體與結構特徵時，納入不同網絡之間的相互影響，因而在分析模型中納入多個不同因素之考量 (de Domenico, 2022)。在神經科學、分子生物學、生態學、經濟學、交通網絡、基礎設施、資訊傳播和氣候等領域的研究中，已逐漸於分析不同類型之實體 (後稱異質實體) 與不同類型之關係 (後稱異質關係) 構成之複雜網絡模型時，採用此一分析方法 (Baccini, Barabesi, Baccini, Khelifaoui, & Gingras, 2022; Bianconi, 2018; Iacovacci, Wu, & Bianconi, 2015; Li, Tian, Gao, & Pan, 2019)。以交通網絡為例，異質實體係指性質或功能不同的節點，如機場、車站與港口；異質關係則指這些實體間不同類型的連結，如航線、鐵路或轉乘關係。多層網絡模型在分析網絡中之節點、群體與結構特徵時，可考量不同網絡之特性與彼此間的相互影響，使分析模型更能契合現實環境之情形 (de Domenico, 2022)。

而書目計量學研究中常見之直接引用、共被引、合著與書目耦合

關係，除形成機制不同，於相關研究之比較中，亦顯示上述書目關係形成之網絡有著不同之特性，反映領域發展的不同面向（Boyack & Klavans, 2010; Qiu et al., 2014; Shibata et al., 2009; Yang et al., 2016; Zhao & Strotmann, 2008a, 2008b）。因此，本研究認為前述書目關係，可視為異質書目關係，即領域發展中之各實體的不同關係。綜觀目前書目計量學在研究學術領域之發展時，多以比較分析多個單一關係網絡的方式進行，以期由此提供不同分析視角。然而，對於整合多重關係網絡後所形成之綜觀分析視角，與單一關係網絡分析結果於描繪學術領域結構與發展情形上有何差異，於書目計量學中仍缺乏相關探討。換言之，既有研究多以單一書目關係網絡之個別分析，或多個單一關係網絡之平行比較，較少探討整合不同書目關係後所呈現之學術領域結構。綜上所述，相關研究已確認，不同書目關係形成之網絡所呈現之分析視角有所差異，而多層網絡模型之分析工具亦已被其它領域之研究，應用於分析複雜網絡。因此，本研究旨在探討，於學術領域分析中引入多層網絡模型後，是否能提供較具整合性的分析結果，並對既有分析視角帶來正面助益。

為驗證多層網絡模型之分析結果，本研究參考Abrizah、Noorhidawati與Zainab（2015）與Huang、Shaw與Lin（2019）調查Web of Science（WoS）中資訊科學與圖書館學領域期刊之結果，以此界定出學界相對具共識且資料品質穩定之領域，以降低因領域不明確而干擾研究結果之可能性。亦基於此一因素，採用兩項調查前後期間，即2013～2022年之資料，作為方法檢驗之基礎。於取回書目資料、使用不同的實體關係建立多種作者關係網絡後，以此組成作者多層網絡並加以分析，以回答以下之研究問題：

- 一、相較於僅由單一關係所構成的作者關係網絡，作者多層網絡在重要作者與研究社群的判斷結果上，是否呈現一致性？
- 二、相較於僅由單一關係所構成的作者關係網絡，在作者多層網絡中被劃分為同一群組的作者，其研究主題相似度是否較高？

本研究所稱之重要作者，係指於不同類型之作者關係網絡中，依著作量、被引次數等指標判定為居於關鍵地位之作者。研究社群則指於各類作者關係網絡與作者多層網絡中，基於連結結構所形成之作者群體。研究主題相似度則指不同作者於其發表文章中所使用之關鍵詞，在相關知識基礎上之相似程度。基於上述研究問題，本研究首先檢視作者多層網絡所呈現之重要作者與社群分析結果，是否與以單一關係網絡進行分析之結果有所差異。之後，則進一步分析兩種方法所辨識之研究社群，

在分群表現與群內同質性上的差異，以評估何者具有較佳之分群能力。透過回答上述兩點，本研究將檢視多層網絡模型在整合多種單一關係網絡後，於重要作者辨識與研究社群分群上的分析結果，並與單層網絡模型進行比較。為進一步奠定本研究之理論基礎與方法依據，以下將回顧相關文獻，說明書目計量學之發展脈絡與多層網絡分析技術之核心概念，並探討兩者結合之研究潛力。

貳、文獻回顧

一、基於書目關係之網絡分析方法

書目計量學為以量化方式分析學術活動與知識結構之研究領域，其核心目標在於透過文獻資料的統計與分析，揭示知識生產、傳播與影響之規律（De Bellis, 2014; Taubert, 2021）。隨著文獻資料量的累積與計算能力的提升，研究者逐漸發展多種書目計量方法，並由不同類型實體及其關係切入，觀察學術領域之結構與發展。基於引用網絡等文獻間關係之方式，後續衍生出多種分析方法，如圖1所示之書目耦合與共被引分析。

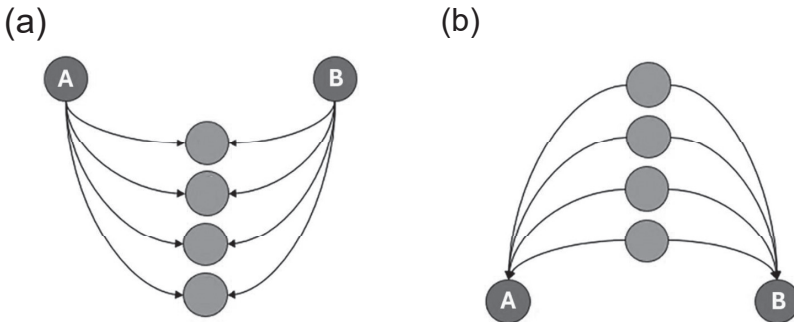


圖1 實體A、B之書目耦合（a）或共被引（b）關係

資料來源：依Miccio等人（2025）改繪。

在相關分析方法中，作者合著（co-authorship）、作者書目耦合分析（author bibliographic coupling analysis, ABCA）與作者共被引分析（author co-citation analysis, ACA）常被用以描繪學術領域中不同層次的關聯。deB Beaver與Rosen（1979）以作者合著關係分析科學合作網絡，

藉此揭示研究社群的社會結構。White與Griffith（1981）將共被引概念應用於作者層級，提出ACA以衡量作者實體之間的關聯。ACA假定兩位作者的關聯程度，可由兩人著作在後續文獻中被共同引用的次數加以衡量；透過統計作者被共同引用的次數並建構作者間關係矩陣，可進一步揭示領域中研究群體之互動結構。相對地，Zhao與Strotmann（2008a）提出ABCA，主張可透過比較作者所引用文獻集合之重疊程度，衡量作者間研究取向的相似性。相較於ACA著重作者在後續文獻中的共同被引用情形，ABCA則是反映作者在研究基礎與知識來源上的接近程度。

除作者層級分析外，書目計量研究亦逐漸將相關概念延伸至主題層級，以掌握研究主題間的知識連結。Callon、Courtial、Turner與Bauin（1983）提出共詞分析（co-word analysis），透過詞彙在文獻中的共現關係辨識主題群落。另一方面，也有研究主張可將詞語視為主題之表徵，並從其所連結的參考文獻基礎分析主題關係。就主題層級的引用分析而言，黃文彬、王冰璐、步一與閔超（2018）提出關鍵詞共被引分析（keyword co-citation analysis, KCA），以參考文獻中的關鍵詞作為主題單位，並根據兩個關鍵詞在後續文獻中被共同引用的情形，衡量主題之間的關聯性。循此脈絡，Hsiao與Chen（2019）進一步提出詞語書目耦合（word bibliographic coupling, WBC）方法，主張可根據兩個詞語之相關參考文獻集合的交集，衡量其主題關聯性。所謂詞語之相關參考文獻，係指所有包含該詞語之文獻所引用的參考文獻集合；若兩詞語所連結之參考文獻重疊程度愈高，則代表兩者在知識基礎上愈為接近。相較而言，KCA係由後續文獻共同引用的角度建立主題關聯，WBC則著重不同詞語所共享之參考文獻基礎。相較於關鍵詞共現網絡主要反映詞語在文本中的共同出現情形，關鍵詞書目耦合網絡則較能由共享知識基礎的角度掌握主題相似度，並據此辨識研究主題之群聚關係。

隨著各式分析方法的提出，研究者得以從多重角度理解學術領域與知識結構，分析視角亦由單一逐漸走向多面向。在分析學科演化、研究前沿與領域熱門議題時，均可運用不同書目計量取徑分析學術領域之結構與發展，如社會創業（Hota et al., 2020）、知識組織（Alipour et al., 2022）及學科領域發展描繪（J. Wang, Cheng, Lu, Dou, & Li, 2023）等。在此基礎上，書目計量方法亦常結合網絡分析與視覺化技術，以分析網絡之微觀結構（micro-structure）、中層結構（meso-structure）與鉅觀結構（macro-structure），進一步呈現學術群體之互動關係與領域發展趨勢（Draux, 2021）。因此，透過作者合著、作者書目耦合、作者共被引與

關鍵詞書目耦合等不同取徑，研究者得以由合作關係、知識基礎與主題結構等面向，掌握學術領域的發展脈絡。

二、書目關係網絡之比較研究

隨著學術界提出多種領域分析方法，不同方法在剖析學科結構時的特點，已成為書目計量學的重要研究議題。在2000～2010年間，多個研究已指出合著、直接引用、共被引與書目耦合等方法的優勢與侷限（Boyack & Klavans, 2010; Shibata et al., 2009; Zhao & Strotmann, 2008a, 2008b）。例如，Zhao與Strotmann（2008a, 2008b）比較書目耦合與共被引方法對資訊科學領域結構的分析結果後，前者主張ABCA較長於捕捉即時的研究動態，後者則認為ACA則較能呈現學術影響的脈絡。其研究結果亦指出，在研究時若能同時採用不同分析方法，較單一方法更能全面地描述知識領域的複雜結構。另一方面，在Shibata等人（2009）偵測學術前沿效能的評估研究中，經分析氮化鎵（gallium nitride）、複雜網絡（complex network）與奈米碳管（carbon nanotube）等研究領域，研究直接引用、文獻共被引、文獻書目耦合等三種引文關係所形成的網絡特性。實驗結果顯示，直接引用法在揭示新興議題上具有時間領先優勢，其偵測效能優於文獻共被引與書目耦合分析。相對於此，Boyack與Klavans（2010）則認為混合方法有最佳表現，而直接引用的表現最弱。該研究以2004～2008年間超過200萬篇生醫領域文獻為樣本，以凝聚度（coherence）和集中度（concentration）衡量直接引用、共被引、書目耦合與混合方法在學科領域分析上的能力，並據此得出前述結論。綜上所述可知，不同書目關係網絡在呈現學科結構時各有側重，因而可能產生互異的分析結果。因此，以前述書目關係進行學科領域分析時，需將多面向納入考慮，以確保得到全面的分析結果。

相關研究亦證實，基於不同引文或合作關係建構的網絡，在結構上可能僅具部分重疊。以Yan與Ding（2012）的研究為例，其研究比較共被引、書目耦合、直接引用、合著、主題共詞及主題共現等六種關係網絡，並透過多維尺度分析（multidimensional scaling, MDS）檢視結果後，認為引用關係網絡的結果，與其他書目關係網絡的結果存在較大分歧。且即便同屬引用關係網絡，不同方法的產出結果亦不相同。因此，由於不同關係所揭示之學科結構各異，該研究建議於學科領域分析時應採用多種不同書目關係之網絡進行分析，以利於掌握學術領域全貌。在Yang等人（2016）與Qiu等人（2014）中，亦指出不同書目關係網絡在呈現知

識結構時，會側重不同角度。前者透過對2006～2015年間的WoS收錄圖書資訊學期刊為對象，於比較作者關鍵詞耦合與書目耦合分析後發現，儘管關鍵詞耦合在因素分析（factor analysis）的表現較佳，但兩者於領域剖析上各具優勢。後者則比較作者合著、共被引、書目耦合、作者詞彙耦合（words-based author coupling）與作者期刊耦合（journals-based author coupling）等五種作者關聯網絡，在建立作者關聯網絡、進行分群與QAP（quadratic assignment procedure）分析顯示，儘管在不同網絡中具有重複的核心作者，但整體的社群結構仍存有顯著差異。由此可知，不同方法在呈現知識結構時側重不同層面，因而形成各異的分析結果。

從方法原理來看，書目耦合法僅需分析文獻所使用之參考文獻，故而可更快速揭示分析單位間研究取向之相似性，但較難動態反映後續使用情形。共被引分析依賴後續出版品對相關文獻的累積引用，時效性弱於書目耦合法，但有利於反映目前學科領域如何應用已累積之成果。相較之下，合著關係則反映作者間的合作結構，呈現學術社群之互動與連結情形。儘管相關研究已證實不同關係所形塑之網絡能揭示知識結構的多樣面向，且其所形成之網絡特徵亦各有差異，但於目前領域分析相關研究中，仍少見嘗試整合多重關係架構之研究。現有研究多以對比各單一網絡的分析結果，而非嘗試在單一模型中將其整合。

近年來，書目計量學領域中已開始出現結合多層網絡概念之研究。如Zhang與Ye（2020）以多層資訊網絡（multiplex information networks）為對象，探討層間相似度指標及不同層的差異，而F. Wang、Dong、Lu與Xu（2023）則使用直接引用、共被引與書目耦合的多種引用關係，以進行學術合作預測。然而，對於多層網絡模型是否能作為整合異質書目關係、用以描繪學科結構之分析框架，仍較少加以探討。由於多層網絡模型可整合異質類型的實體與關係，並納入層內與層間的交互作用，這提供以單一模型整合不同書目關係網絡以進行分析的可能途徑。於下節中，本研究將說明多層網絡分析之概念發展與應用。

三、多層網絡分析之概念與應用

由於現實世界的社會、科技與知識系統，往往同時存在多種類型的關聯，若僅以單層網絡表示，將難以捕捉不同關係間的相互影響，亦難以進行更為細緻之分析。以Kivelä等人（2014）展示之Zachary Karate Club Club（ZKCC）互動網絡為例，此網絡顯示曾在一段時間中持有ZKCC跆拳道獎盃的四位網絡科學學者的互動。在圖2(a)中，依據互動的類型、會議情境加以區分，使不同關係面向得以在多層結構中同時保留與區辨。

但若將各個不同關係面向之網絡加以扁平化（flatten），形成單一的扁平化整合網絡（aggregate network）後，則會如圖2(b)的情形所示，將難以看出不同會議上的互動關係差別。換言之，若將原本不同性質的關係同質化，則不同互動機制的資訊差異便會消失，不利於還原進行互動時之脈絡，從而限制分析之可能性。類似限制亦可見於其他單層網絡之應用。例如，以不同書目關係建立之作者網絡後，若將不同關係同質化、形成如圖2(b)之網絡，則不易於區別各書目關係中之特徵；反之，將各書目網絡分別獨立檢視，則可能失去整合不同關係網絡的資訊。

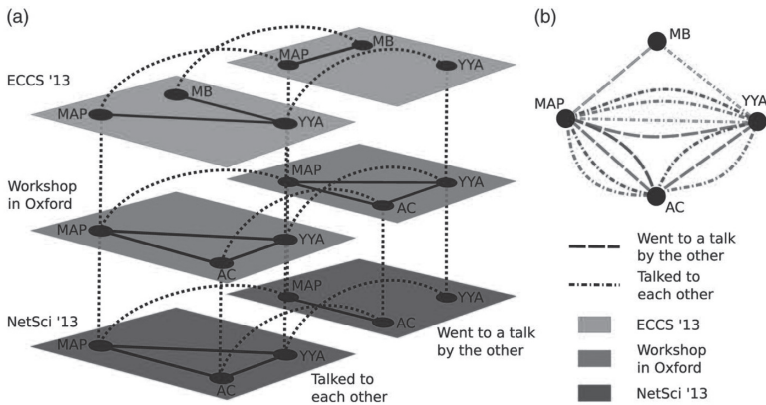


圖2 ZKCC多層網絡，呈現互動類型與會議情境兩個面向的層次結構及其層間連結

資料來源：Kivelä等人（2014）。

而在多層網絡模型中，除各層內部之連結外，可透過層間連結串接同節點於不同關係層中的位置。以ZKCC互動網絡為例，學者在不同會議的互動情形，會分別存在於不同層，並藉由層間連結串接同一學者。此類連結之強弱，亦可稱為層間耦合強度（inter-layer coupling strength）表示，以此衡量同一節點於不同關係層間之關聯程度。當耦合強度較高時，各層資訊較傾向被整合為一整體加以分析；反之，當耦合強度較低時，則較能保留各關係層本身之相對獨立性。

在Kivelä等人（2014）對於多層網絡模型發展的回顧中指出，隨其發展與變動，學界以多種不同方式稱呼此類模型，部分細節亦有所出入。該研究整理出二十餘種相關名稱，顯示此類模型之概念與分析技術，仍處於發展與整合之過程中。雖然在該回顧中，整理出數十種不同

之名稱與定義，但如Dickson、Magnani與Rossi（2016, p. 26）所歸納，此類模型之共同點為：「行動者被組織於不同的層次之中，且不同層次中的節點可能對應到同一個行動者」（the fact that actors are organized into different layers and the fact that nodes in different layers can correspond to the same actor）。換言之，此類模型之核心能力為使研究者藉由層內連結與層間連結，將存在於不同關係層之同組節點，於考量不同關係及其交互作用之因素下進行節點分析。此類模型提供整合分析同一行動者在異質關係網絡之連動與影響，並已應用於多個研究中。以Hammoud與Kramer（2020）所回顧之流行病學應用多層網絡模型之研究為例，其多層網絡包含三種彼此相互連結的層次，分別代表個體是否接收到疾病資訊、是否採取防治行為，以及其實際感染風險。若僅使用單層感染網絡，研究者只能觀察疾病如何在人際接觸中傳播。但在多層網絡架構下，研究者可於不同網絡層中分別模擬資訊、行為與疾病的傳播過程，並進一步分析層與層之間的交互影響，例如資訊擴散如何促進防治行為採納，而防治行為又如何改變感染傳播風險。此類研究中，多層網絡不僅呈現多種關係的並存，更能模擬不同關係機制之間的相互影響。

另一方面，Li等人（2019）將人際互動區分為實體與虛擬兩種模式，並指出兩者在影響力強度與建立機制上存在本質差異，單一網絡模型難以同時容納此類異質因素。相較之下，多層網絡模型可依據關係類型的特性，在不同層級中配置差異化的影響權重。該研究即以資訊傳播層（information layer）與實體接觸層（physical contact layer）建構多層網絡，並以綠色行為傳播作為主要分析對象，探討資訊擴散如何影響綠色行為的採納與擴散。由此可知，多層網絡模型提供了一種能夠同時處理多種類型關係的分析架構，使研究者得以在單一模型中整合不同關係，有助於揭示單層網絡分析中難以辨識的動態與結構特性。

前述多層網絡模型主要分析同質節點在不同關係網絡中的相互作用，網絡分析領域亦發展出能將異質節點納入統一框架的模型，本文稱之為多網絡體系模型（network of networks）。就概念而言，多層網絡通常係指同一組節點在不同關係層中形成之多重網絡；相對地，多網絡體系模型則進一步納入不同類型之節點，使各層除可代表不同關係外，亦可代表不同類型之實體。在多層網絡架構中，每一層可代表不同類型的實體形成之關係網絡，例如基因、蛋白質與細胞，或作者、文獻與研究主題等（de Domenico, 2022; Kivelä et al., 2014）。而不同層之異質實體間的關聯，則透過層間連結進行串接。研究者可採用此模型，以統一框

架探討異質節點間的互動，以及層內與層間結構如何共同形塑整體系統的特性。此類模型已被廣泛應用於神經科學、分子生物學、生態學與資訊傳播等領域，藉此模擬異質節點間的影響情形，進而預測複雜系統的行為結果（Bianconi, 2018；McGee et al., 2021）。

於Dickson等人（2016）中指出，社會網絡分析於研究異質實體與關係所形成的複雜網絡系統時，常使用的作法是將此類網絡中的異質關係扁平化為單層網絡後再行分析，抑或將之區別為各別獨立之單層網絡進行分析。前者雖有助於簡化分析對象，卻會使不同層中原有之關係差異與層間連結資訊遭到壓縮；後者雖能保留各層之個別特性，卻較難進一步掌握跨層互動對整體結構可能造成之影響。由於在這些方法中均捨棄層間連結與關係差異之資訊，因而在複雜網絡上的分析確有其限制。由相關研究可見，多層網絡與多網絡體系已被應用於自然科學與工程領域中，其具備分析複雜系統的可行性。早期由於相關技術與工具並未完備，因而使用多層網絡或多網絡體系分析複雜系統，實行門檻較高。de Domenico（2022）指出，常見問題包括演算法難以實作、程式碼未公開、工具分散於不同程式語言與套件環境，以及缺乏可統一進行之工具。而同書亦指出，目前於網絡分析領域中，已有如muxViz等分析工具，可在一定程度上改善早期多層網絡分析於實作面所面臨之限制。此類工具之發展，顯示多層網絡與多網絡體系之分析工具已逐漸成熟，研究者實際採用之技術門檻亦較先前降低。

於前述回顧之既有書目計量學研究，已使用比較多個異質關係網絡的方式進行分析，顯示已意識到整合多重關係的重要性；惟在理論建構與分析技術上，仍缺乏一套具備可操作性的整合型分析框架，且運用多層網絡模型之研究仍相對有限。相較於前述自然科學與社會科學領域中，已逐步採用多層網絡或多網絡體系分析異質實體與異質關係所構成之複雜系統，書目計量學研究雖已注意到不同書目關係具有互補性，卻仍多停留於單一關係網絡分析或多個單一網絡之比較，尚未充分建立可操作之整合分析框架。為填補書目計量學研究中此方法論之研究缺口，本研究以多層網絡模型整合由異質關係構成之多個作者網絡，比較與單層網絡結果之差異，以驗證多層網絡於學科領域分析之可行性。研究結果可提供進一步發展書目計量學領域於整合異質資料、關係之分析理論與方法基礎，為理解學術知識生產與傳播之複雜結構提供新的研究途徑。

參、研究設計

一、研究資料之蒐集

本研究採用圖書資訊學領域之期刊出版品為研究樣本，為確保樣本可代表此領域之內容，參酌Abrizah等人（2015）及Huang等人（2019）對WoS資訊科學管理領域期刊之學科傾向調查。經交叉比對其結果，選定在兩份研究中皆被歸類為圖書館學與資訊科學之64種核心期刊。完整之期刊清單，請見附錄一。確認期刊清單後，於2024年11月間，自WoS下載各刊物於2013～2022年間刊登文獻之書目資料計76,885筆，包含論文篇名、期刊名、文獻類型、出版時間、引用書目、被引次數、作者姓名、所屬機構、機構所屬國家、開放取用類型、研究補助等欄位。

本文所稱之實體關係組合，係指研究者選定特定類型之分析對象作為網絡中的實體，並依據特定規則界定該等實體間之連結關係，據以建構關係網絡。在書目計量學研究中，常見之實體有文獻、作者、期刊、主題等，而關係則可為直接引用、共被引、書目耦合、共現等。不同之實體與關係組合，將形成不同類型之網絡，並提供理解學術領域結構之不同分析視角。基於前文回顧之書目計量方法發展，本研究選擇以作者作為建構網絡之實體。其原因在於，作者合著、作者書目耦合與作者共被引分析，已分別由合作關係、知識基礎與學術影響等面向，提供描繪學術社群結構之分析基礎。以作者作為共同實體，亦較有利於整合不同類型之作者關係網絡，進而比較核心作者群體在多層關係結構中的連結情形。由於本研究以作者做為建立網絡之實體，因而需進行作者姓名消歧（author disambiguation）以避免研究結果之偏誤，唯下載之WoS資料中缺少可做為姓名消歧之識別碼。故再以下載之書目資料中各篇文獻的數位物件識別碼（digital object identifier, DOI），使用Pybliometrics套件經Scopus API（application programming interface）查詢該文章是否被收錄於Scopus資料庫後，取回有收錄於Scopus資料庫之文獻的書目資料。本研究於2025年1月～2月間，使用Pybliometrics取得Scopus中之書目資料。Pybliometrics為存取Scopus資料庫的Python套件，可協助進行文獻計量分析與引用網絡研究（Rose & Kitchin, 2019）。於取回Scopus書目資料後，從中解析刊登文獻與其參考文獻的詮釋資料，以及各文獻作者之Scopus ID。最終納入本研究之刊登文獻數目，計56,969筆，占WoS中取得資料之74.1%。

二、資料處理與網絡建構

基於取得之書目資料，本研究建立三種作者關係網絡，分別為作者合著網絡（author co-authorship network）、作者書目耦合網絡（author bibliographic coupling network）與作者共被引網絡（author co-citation network）。選擇此三種作者關係網絡，主要係因其分別反映學者間之合作結構、學者使用之知識基礎相似性、學者於文獻中被共同使用之程度等三種面向，有助於從不同面向描繪學術領域之結構。

為確保準確辨識各網絡中作者，本研究以Scopus提供之Scopus ID作為作者辨識依據，以確保後續多層網絡中層間連結之正確一致。上述三種作者關係網絡皆以作者為節點，並以年度為單位分別建立。各年之關係網絡的建立方式，以2014年為例，作者合著網絡係依據作者於2014年發表文獻之合著情形建立；作者書目耦合網絡則依據作者於2014年發表文獻之參考文獻，計算作者於該年使用之參考文獻的重疊情形；作者共被引網絡則依據於該年度發表文獻中所共同引用的作者，建立該年度的作者共被引網絡。各網絡中的關係強度（edge strength）之計算方式依網絡類型而異。於作者合著網絡中，關係強度為兩位作者共同發表之篇數。於作者書目耦合網絡中，則依據Zhao與Strotmann（2008a, 2008c）中之計算方式，將兩位作者之關係強度，依據各作者所有發表著作中所參考文獻的重疊數目決定作者間之關係強度。而在作者共被引網絡中，關係強度是兩位作者作品被其他文獻共同引用的次數（White & Griffith, 1981; Zhao & Strotmann, 2014）。

由於不同網絡類型間之關係權重數值範圍分布存在顯著差異，若未加以調整，會顯著影響於分析多層網絡分析中關係強度與節點活躍性的結果。為減少不同網絡間關係權重尺度差異對分析結果的影響，本研究進一步對三種作者網絡的關係權重進行正規化處理。本研究參考Uzzi、Mukherjee、Stringer與Jones（2013）調整共被引關係強度之方式，依各網絡的權重分布，將所有關係權重轉換為z分數。具體作法為：先計算該網絡所有關係權重的平均值與標準差，再將各關係權重轉換為其相對於平均值的標準化距離。經此轉換後，三種網絡中的關係權重皆可視為該作者關係在其網絡內部的相對強度，從而降低不同網絡間權重尺度不一致所造成的偏差。

三、多層網絡之建立與分析

本研究於完成三種作者關係網絡的建置與正規化後，依據各網絡之性質挑選核心作者進行比較。在合著網絡與書目耦合網絡中，由於兩者

皆與作者當年度之發表活動有關，故先以作者於該年度之著作量作為篩選基礎。考量著作量同分情形較為常見，為進一步區辨作者於網絡中的相對重要性，乃再依強度中心性排序；其中，合著網絡之強度中心性反映作者與他人共同發表之程度，書目耦合網絡之強度中心性則反映作者與他人在參考文獻使用上的相似程度，並據此各選出前100位作者。共被引網絡則反映作者先前研究成果於該年度被共同引用之情形，因此以被引次數作為核心作者之篩選標準。由於被引次數已較能區辨作者在共被引網絡中的重要程度，且同分情形相對較少，故直接選出該年被引量最高之100位作者。此一選取方式確有未納入非網絡核心作者之情形，因而可能低估部分關係結構。惟本研究之重點在於辨識不同作者網絡中的核心作者群體，並據以探討多層網絡模型之適用性，對整體作者母體之呈現則相對有限。此外，由於各網絡之篩選標準分別反映作者之產出量與學術影響力，故可在一定程度上兼顧高產作者與低產高影響力作者，降低單一標準所造成之樣本偏差。

由於三種作者關係網絡所選出的核心作者並不完全重疊，若直接以此比較各網絡核心作者之指標或排序表現，可能高估網絡間差異。舉例而言，若某網絡中的核心作者未出現在另一網絡的核心名單中，兩者名次便無從對應；此時若仍以排序相關係數進行比較，將因比較基準不一致而放大名次差距。為維持一致的比較基準，本研究先將三個網絡中所有曾入選核心名單之作者整合為共同集合，並依此集合自各網絡中擷取由核心作者構成之作者關係子網絡。

於完成前述三種作者關係網絡的建置、正規化與子網絡擷取後，本研究進一步使用muxViz套件串接作者合著網絡、作者共被引網絡與作者書目耦合網絡，以建構作者多層網絡模型（以下稱為作者多層網絡）。該套件基於R語言開發，其理論基礎與運作方式可參考de Domenico等人（2013）、de Domenico、Porter與Arenas（2015）及de Domenico（2022）。本研究運用其分析功能比較單層網絡、多層網絡及扁平化整合網絡之間的結構差異，以檢視不同網絡表徵方式在結構資訊保留程度上的差異。除此之外，本研究亦利用該套件提供之節點活躍性與社群偵測（community detection）功能，分析節點於作者多層網絡中的活躍程度及其所屬社群。

在作者重要性評估方面，本研究採用muxViz提供之度中心性（degree centrality）、強度中心性（strength centrality）與PageRank中心性（PageRank centrality）等指標，衡量核心作者的重要性，並進一步以Spearman相關係數檢視核心作者在各網絡中之重要性排序一致程度。之

所以納入三種中心性指標，主要是因為三者所代表的重要性概念並不相同。度中心性反映的是作者連結對象的多寡，強度中心性反映的是作者與他人連結的累積強弱，而PageRank中心性則進一步將連結對象本身的重要性納入考量。以作者合著網絡為例，度中心性表示作者曾與多少不同作者合作，強度中心性表示其累積合作次數，PageRank中心性則反映其是否與網絡中較重要的作者建立合作關係。於作者書目耦合網絡與作者共被引網絡中，前述三項指標亦分別對應作者連結範圍、關係強度及連結對象重要性之不同面向。若僅採單一指標，較難完整分析多層網絡模型於不同面向下，與其它單層關係網絡中所得結果之異同，故本研究將三者一併納入分析。而於層間耦合設定上，本研究採用該套件之預設層間耦合強度進行分析，並另行測試將此值設定為1與100，以檢驗不同層間耦合強度下結果之穩定性。結果顯示，不同設定下之分析結果於本文報告之數值精度下呈現一致，未影響主要分析結論。由於三者結果整體趨勢一致，後續報告研究結果時，僅呈現採用預設值之結果。

四、作者研究主題相似程度評估

於完成網絡相似性分析後，本研究使用muxViz套件所提供之Infomap分群演算法，辨識作者多層網絡中的社群結構。Infomap為一種以隨機走訪（random walk）為基礎之分群方法，可依節點間連結所形成之流動結構辨識社群（de Domenico, Lancichinetti, Arenas, & Rosvall, 2015）。為評估分群結果之表現，本研究引入研究主題相似度作為驗證基準。具體而言，本研究以書目耦合概念為基礎，參考Hsiao與Chen（2020）之方法，建構關鍵詞書目耦合網絡（keyword bibliographic coupling network），以衡量作者研究主題之相似程度。關鍵詞書目耦合網絡係以作者提供之關鍵詞作為建構基礎，先篩選同時具備參考文獻與作者關鍵詞之文獻，再對關鍵詞進行基本標準化處理，例如統一大小寫、刪除多餘空白，並盡量減少單複數差異對分析結果之影響。之後，則依據使用該關鍵詞文章中之參考文獻，彙整各關鍵詞所對應之參考文獻集合，並比較其間之重疊程度，以決定關鍵詞間之耦合強度。因此，本研究之關鍵詞書目耦合網絡所反映者，為不同作者關鍵詞在知識基礎上的關聯性。若作者被分為同一社群，則其所使用之關鍵詞於此網絡中應具有較高關聯性，亦即關鍵詞間可能直接連接，或具有較短之路徑距離；反之，若作者被分入不同社群，則其關鍵詞間之距離應相對較遠。

在此基礎上，本研究計算任兩位作者所使用之關鍵詞於關鍵詞書目耦合網絡中的平均最短路徑長度，作為作者對之研究主題相似度指標，

並據以評估分群結果的合理性。具體而言，平均最短路徑長度愈短，表示兩位作者所使用之關鍵詞在知識基礎上愈為接近，研究主題相似度亦愈高；反之，平均最短路徑長度愈長，則表示其研究主題相似度愈低。本研究採取的判斷原則如下：若兩位作者被歸入同一社群，則其研究主題相似度應較高，亦即其關鍵詞於網絡中的平均最短路徑較近；反之，若兩位作者被分入不同社群，其研究主題相似度則應較低，平均最短路徑亦較遠。據此，本研究以量化方式比較多層網絡與單層網絡的分群結果，評估成對作者在同群與不同群情境下的主題相似程度，並據以檢視作者多層網絡在社群偵測上的表現。

綜上所述，本研究以多層網絡模型整合作者間多種類型的關係與結構特徵，目的在於評估此模型能否在保留各單層網絡固有特性的同時，更全面呈現知識互動的整體樣貌。接續將依據本研究所建構的多層網絡模型，報告各層級之分析結果與比較。

肆、結果與討論

本研究先依不同作者關係建構多個作者單層網絡，並比較各單層網絡中核心作者的組成差異。接著，使用muxViz將各作者單層網絡串接為多層網絡，以比較單層與多層網絡在辨識核心作者與研究社群上的差異。本研究亦比較在多層網絡與單層網絡所辨識出的研究社群中，社群內之成對作者的研究主題相似度，以此判斷多層網絡與單層網絡所建構的網絡，在劃分社群後所呈現之研究主題一致性差異。

一、核心作者組成之比較分析：單層網絡

為呈現不同作者關係網絡在結構特徵上的差異，本研究比較2013～2022年間，作者書目耦合、作者共被引與作者合著等三種作者關係網絡於核心作者上的重疊情形。核心作者之判定方式，如研究設計所述。本研究分別擷取各年度中，三種網絡的前百名核心作者，並比較不同網絡中的核心作者重疊程度，以衡量不同關係之核心群體的異同。各年度作者重疊結果見表1。同時出現在三種網絡的核心作者數量，在不同年分中介於20～33人之間。此結果顯示，儘管存在部分可被三種網絡共同辨識的核心作者，但三種網絡所揭示的核心群體仍有著明顯差異。

交叉比較三種網絡之核心作者後，作者書目耦合網絡與作者合著網絡之核心作者群重疊程度最高。在研究期間各年度中，有58～74位作者同時被兩個網絡歸為核心作者。此重疊數量雖隨年分有一定幅度波動，

但仍占各網絡的前百名核心作者群之58% ~ 74%。本研究推測其原因除在於兩個網絡採用相同的核心作者篩選標準外，亦可能與合著關係有關。當作者之間存在合著時，共同產出的文獻往往使其參考文獻使用呈現較高重疊，進而提高以參考文獻重疊程度計算之作者書目耦合強度。但即便在此情形下，2013 ~ 2022年間兩個網絡的核心作者名單仍未完全一致；在各年度中，僅出現在其中一個網絡核心作者群的作者數目，合計仍有7 ~ 25位作者。此結果顯示，作者書目耦合網絡與作者合著網絡中，所辨識出的核心作者群仍存在一定差異。

表1

作者書目耦合（BC）、作者共被引（CC）與作者合著（Co）網絡之核心作者交集情形

年分	All	BC/CC	BC/Co	CC/Co	BC	CC	Co
2013	32	1	61	1	6	66	6
2014	33	1	58	0	8	66	9
2015	28	1	59	1	12	70	12
2016	29	1	63	0	7	70	8
2017	27	1	66	0	6	72	7
2018	26	3	61	2	10	69	11
2019	20	0	67	1	13	79	12
2020	32	0	64	1	4	67	3
2021	27	2	64	0	7	71	9
2022	20	1	74	1	5	78	5

註：All：三種網絡皆為核心作者之人數；BC/CC：書目耦合與作者共被引皆為核心作者之人數；BC：僅書目耦合為核心作者之人數。

相對而言，與作者共被引網絡相比時，無論是作者書目耦合網絡或作者合著網絡，其核心作者之重疊度均相當低。在排除三種網絡的共同核心作者後，書目耦合網絡與共被引網絡的核心作者交集，以及合著網絡與共被引網絡的核心作者交集，通常僅餘1 ~ 3位。即使將三網共同核心作者納入計算，以共被引網絡的核心作者群為基準，書目耦合網絡與共被引網絡的核心作者重疊比例，以及合著網絡與共被引網絡的核心作者重疊比例，仍僅約為四分之一至三分之一。此結果可合理理解為三種網絡的建構基礎不同，因而分別凸顯學術社群中不同層面的關係。書目耦合網絡之關係

由研究者於著作中所引用之文獻所決定；合著網絡則反映研究者之合作選擇；共被引網絡則取決於其他研究者如何引用其作品。綜上所述，三者之間的差異與文獻回顧中既有研究的發現相互呼應，即不同關係類型的網絡往往會揭示學科領域中不同的知識結構面向。

上述結果顯示，2013 ~ 2022年間三種作者關係網絡所辨識之核心作者組成，具備以下模式。首先，同時出現在三種網絡中的核心作者僅占少數，不同作者關係所界定之核心群體不完全一致。而各別來看，書目耦合網絡與合著網絡的重疊程度較高，作者共被引網絡與另外兩種網絡的核心作者重疊度均較低。究其原因，一方面可能與核心作者之選取方式有關：書目耦合網絡與合著網絡係先以著作量篩選、再依強度中心性排序選取，而共被引網絡係以被引次數為主，這使書目耦合網絡與合著網絡之核心作者十分接近，而與共被引網絡的結果不同。但另一方面，也是各關係所分析面向有所不同所致。如Zhao與Strotmann（2008a, 2008b）所述，書目耦合分析較反映研究者所依循之知識基礎的相近程度，而共被引分析呈現在後續文獻中所累積的影響面向，故而有所差異。就本研究之結果而言，上述差異持續在此期間之資料出現，顯示以不同書目關係分析圖書資訊學領域中的核心作者結構時，僅有少部分作者在各書目關係中均會成為核心群體。

為進一步檢視於不同作者關係網絡中對於作者重要性評估結果之差異，本研究再以度中心性、強度中心性與PageRank中心性等指標，衡量作者在不同作者關係網絡中的重要程度，並使用Spearman相關係數比較排序之相似程度。相關結果如圖3所示，圖3(a)為度中心性，圖3(b)為強度中心性，圖3(c)為PageRank中心性。

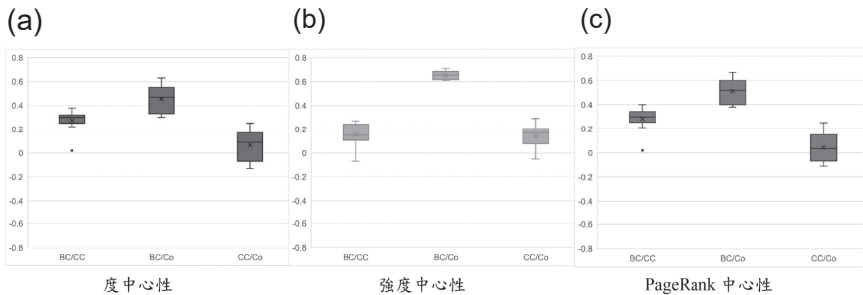


圖3 作者書目耦合、共被引與合著網絡間核心作者排序相似性

註：每一子圖內的盒鬚圖包含三個分組，(a)、(b)、(c)分別代表書目耦合與共被引網絡、書目耦合與合著網絡、共被引與合著網絡之相似性。

三種指標的結果指出，核心作者的重要性排序在作者書目耦合網絡與作者合著網絡之間的一致性最高。就多數年度而言，若以度中心性衡量，兩者Spearman相關係數多落在 .30 ~ .50；以強度中心性衡量，約介於 .60 ~ .70；以PageRank中心性衡量，則介於 .40 ~ .60。此結果顯示，在書目耦合與合著兩種網絡中，核心作者的重要性排序呈現中度至高度的的一致性，反映兩種作者關係對核心作者重要性評估的結果較為接近。

相較之下，作者書目耦合網絡與作者共被引網絡之間的排序一致性較低。以度中心性衡量時，相關係數約為 .20 ~ .30；以強度中心性衡量時，多落在 .10 ~ .25；以PageRank中心性衡量時，整體約介於 .20 ~ .40。整體而言，兩種作者關係網絡中的核心作者重要性排序僅呈低度一致，顯示兩者對於核心作者重要性之排序結果存在較大差距。

而當檢視作者合著網絡與作者共被引網絡之比較結果時，排序一致性更為有限。三種指標所得到的作者重要性排序，其相關係數多落在 -.10 ~ .20，顯示兩者在核心作者重要性排序上多數年度接近無相關。綜合以上結果可知，三種作者關係網絡在核心作者排序的一致性整體偏低，僅書目耦合與合著兩者之間呈現相對較高的一致性，其餘配對則多為低度或接近無一致性。

因此，無論從核心作者的組成，或從核心作者在不同中心性指標下的重要性排序來看，三種作者網絡所呈現之核心群體皆顯示出差異程度較大。此結果與先前文獻回顧中既有研究的發現相互呼應，指出在使用不同關係對同實體進行分析時，所揭示研究領域發展面向並不一致（Qiu et al., 2014; Shibata et al., 2009; Yan & Ding, 2012; Yang et al., 2016; Zhao & Strotmann, 2008a, 2008b）。因此，若研究目的在於同時掌握多種關係面向，僅依賴單一關係網絡可能不足。本研究接續則分析經muxViz套件建立作者多層網絡，並比較作者多層網絡與各單層網絡在不同中心性指標下之核心作者排名相似度，並比較其分群結果。

二、核心作者組成之比較分析：作者多層網絡

本節分析作者多層網絡與三個單層作者關係網絡之核心作者排序，並採用前述相同之核心作者篩選方法，彙整三個單層作者關係網絡所辨識之作者以形成核心作者集合。其後，於各單層作者關係網絡中，僅保留核心作者集合中的作者及其彼此之連結，以形成三個對應的單層子網絡後，再以此三個單層子網絡組成作者多層網絡。在各網絡模型中，再以度中心性、強度中心性與PageRank中心性分別衡量各作者在該網絡中的重要性並加以排名，復以Spearman相關係數比較多層網絡與各單層網

絡之排名相似程度。本文主要呈現以前100名之聯集所形成核心作者集合的結果，並以前500名與前1,000名之聯集進行檢驗，以確認不同核心作者規模下結論是否一致性。

結果顯示，無論採用度中心性、強度中心性或PageRank中心性衡量作者重要性，作者多層網絡在重要作者排序上與作者共被引網絡的相似度最高。以度中心性與PageRank中心性計算時，多數年分的相關係數介於 .80 ~ .85 之間，顯示兩者排序高度一致；若以強度中心性衡量，相關係數進一步提升至 .90 ~ .95 之間。相較下，作者多層網絡與作者書目耦合網絡的排序相似度多介於 .60 ~ .80 之間，為中度至高度一致；強度中心性下亦觀察到類似模式，但在少數年分會降至 .60 以下。作者多層網絡與作者合著網絡相比時，相關係數約介於 .10 ~ .47。

而就指標特性而言，度中心性主要反映作者是否與其他作者形成連結，對連結強弱與連結對象的重要性較不敏感，因此其排序結果的區別力相對有限。相較之下，加權強度中心性直接反映作者連結之累積強度，故當多層網絡中某一關係層提供較多且較強的連結時，該層對排序結果的影響亦會更為明顯。至於PageRank中心性，除考量作者本身之連結情形外，亦將連結對象之重要性納入計算，因此更容易受到不同網絡中核心結構與重要節點分布差異的影響。由上節單層網絡之分析結果可知，作者於不同關係網絡中的重要性排序本即存在一定差異，故作者多層網絡在PageRank中心性上的排序結果，亦未必如加權強度中心性般，與特定單層網絡呈現更高程度之一致性。

此外，若分析關係之形成機制，三種作者關係在生成門檻、關係密度、作者範圍上的差異亦可能影響排序結果。合著關係有賴於作者在該年度有發表與共著，而這易受到研究主題、機構分布與合作機會等因素限制，整體關係數量與強度均難以提升，不利於區別作者間之重要性外，亦使得此網絡對於多層網絡模型的影響力偏弱。相較下，作者書目耦合關係取決於作者間引用文獻重疊程度，門檻低於合著關係，較有利於以各類指標區別出作者之重要性。但作者間的關係，除了須建立在使用相似知識基礎上，連結強度亦取決於作者於該年之發表情形。而作者共被引關係僅需兩位作者於後續文獻中被共同引用即可形成，涵蓋範圍可納入未發表之作者外，作者間關係強度的累積速度亦較另兩類迅速。一方面，這使被納入多層網絡模型中但當年度未有發表的作者，重要性完全取決於共被引網絡中之資訊；另一方面，由於其關係強度累積迅速，即使於正規化後，仍可能對多層網絡模型中之排序有較強之影響。

於此前提下，在多層網絡整合過程中，作者共被引網絡可能提供較多連結資訊，因而使作者多層網絡之排序結果與其呈現較高相似性。

歸納上述結果，作者多層網絡與作者共被引網絡的排序相似度，高於其與另外兩個單層網絡的相似度。其中，作者多層網絡與作者書目耦合網絡的相似度相對較高，而與作者合著網絡最低（如圖4）。雖然作者多層網絡所得到的作者重要性排序與作者共被引網絡之間的一致性最高，但其與作者書目耦合網絡的相關係數亦維持在中度至高度一致的範圍。對照上節對於各類單層作者關係網絡間之作者重要性排序相似度比較結果，作者多層網絡之重要性排序與作者共被引網絡及作者書目耦合網絡皆呈現中度以上的相似性，且與作者合著網絡之間亦存在可觀察的正向相關。基於作者重要性排序的分析結果，本研究認為作者多層網絡提供了進行綜合對照的一種整合視角。

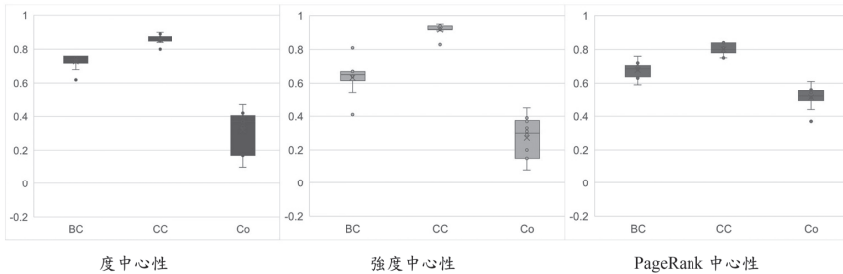


圖4 作者多層網絡與其它單層網絡於作者重要度排序上之相似程度

註：BC：與作者書目耦合網絡比較；CC：與作者共被引網絡比較；Co：與合著網絡比較。

當核心作者規模增至500或1,000時，前述觀察結果在相對關係上仍維持一致：作者多層網絡與作者共被引網絡之作者重要性排序最為接近，其次為作者書目耦合網絡，而與作者合著網絡之相似度最低。由於三種單層關係網絡的關係形成機制差異，使其對多層網絡結構的影響程度不一。在作者合著網絡中，作者間必須共同發表研究方能形成連結，有較高的建立門檻。此外，合作關係受研究主題、機構分布與人際網絡等條件所侷限而不易擴張，因而整體關係數量及網絡密度相對較低。相較之下，作者共被引關係的形成條件較為寬鬆，僅需兩位作者之作品在後續文獻中被共同引用，即可建立關係。以單一來源文獻為例，合著關

係僅限於該文作者，但在其參考文獻所涵蓋的作者之間即會產生為數眾多之共被引關係，因而作者共被引關係在數量上遠高於合著關係。作者書目耦合網絡之關係強度，則依賴作者引用之文獻的重疊程度來判定，其形成條件門檻介於前兩者之間。綜合來說，三種單層網絡中的關係在形成時的特性差異，使得各網絡在連結密度與覆蓋程度上具不同特性，並在整合為多層網絡後對作者重要性排序程度產生不同的影響。

基於上述機制差異，作者多層網絡更易於受到作者共被引網絡之影響。由於作者共被引網絡更易於形成作者間之關係，從而使其更可能提升連結的密度與關係強度，並在整合過程中更易於提供節點之連結資訊，因而對作者多層網絡之整體網絡特徵產生較強之影響。值得注意的是，即使經過正規化來控制不同作者關係在權重上的數值差異，此相似度排序仍然維持，顯示該趨勢在權重數值之外，亦與關係生成特性所導致的結構特徵相關。

另一方面，核心作者節點數擴增至500、1,000，並以此形成對應之子網絡來進行分析時，可觀察到各單層作者關係網絡與作者多層網絡之間的相關係數，整體呈現下降趨勢。本研究推論其原因，可能源自規模擴張引入相對低中心性之節點所致。當核心作者集合由較小規模擴增至500或1,000時，相較原先高中心性之作者，新增節點的連結數量與強度往往較低，更容易凸顯不同作者關係網絡在弱連結區的差異，因而降低在作者重要性排序上的一致程度。依據此結果，本研究認為多層模型與各單層作者關係網絡在作者重要性排序上的一致程度，會隨納入作者數增加而逐步下降。因此，雖然作者多層網絡較受作者共被引網絡之結構特性影響，但當核心作者集合擴張時，新增節點將弱化效應，從而降低作者多層網絡所呈現之作者重要性排序與單一關係層之重合程度。

在分析核心節點於不同網絡中的強度情形後，本研究發現部分節點在某一層網絡中雖具備高強度值，但在其他層中卻可能完全不具備關聯強度。以圖5的2013年各網絡中節點之度中心性強度散布圖為例，作者合著之子網絡（layer 1）與書目耦合之子網絡（layer 2）可發現，部分作者在書目耦合中的強度高於10，但在作者合著中的強度卻為0。這種分布落差在合著網絡與作者共被引之子網絡（layer 3）中尤為明顯，大量在作者共被引中強度超過25的核心作者，在作者合著中並無任何合著紀錄。但在比較多層網絡與各單層網絡的節點強度散布情形時，則未觀察到上述的現象。觀察作者多層網絡（mux）與作者合著之子網絡的節點強度散布情形，可發現大量節點趨向X軸水平分布，反映出部分作者雖未在作者合著之子網絡中產生連結，但作者多層網絡能整合並反映該作者在

書目耦合或共被引關係中所指出的重要性。反之，Y軸方向並未發現類似的節點分布模式，顯示作者多層網絡能納入作者合著之強度資訊。此一觀察支持了多層網絡作為整合分析工具的有效性：它不僅能補足單層維度的資訊缺失，且不會遺漏既有的結構特徵。換言之，多層網絡模型具備保留與整合各單層網絡的結構特徵之能力。綜合上述結果，不同關係類型的單層網絡在捕捉核心作者時，確實存在一定之差異，而多層網絡模型則具備保留與整合各單層網絡中的結構特徵之能力，並構建出能反映不同關聯類型的整合分析架構。

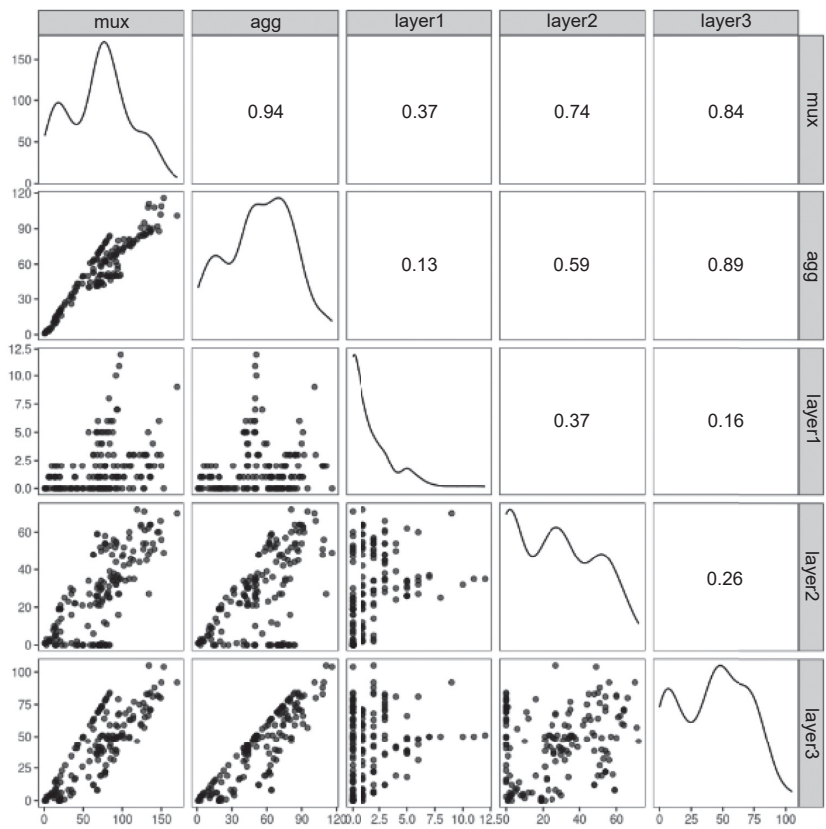


圖5 2013年各網絡中核心節點重要性相關情形

註：mux：多層網絡；agg：整合網絡；layer1：作者合著網絡；layer2：作者書目耦合網絡；layer3：作者共被引網絡；X軸與Y軸之數值，為網絡中節點之度中心性強度。

此外，圖5亦呈現出作者多層網絡與作者書目耦合網絡、作者共被引網絡之相關性較高，而與作者合著網絡之相關性較低。對比2013年各書目關係之結構特徵後，本研究與合作網絡中之作者關係數量遠低於另兩類網絡有關。在該年分的各類網絡中，合著關係僅有148條，而作者書目耦合與作者共被引則分別有2,371與3,726條。此差異與三類關係之形成機制有關，合著關係須以實際共同發表為前提，而作者書目耦合與作者共被引關係建立於參考文獻重疊與後續共同被引用，形成門檻有明顯區別。本研究推論，由於不同網絡提供之連結數量有明顯落差，因而使得各單層網絡對於作者多層網絡的影響有所區別，並使作者多層網絡易受到結構較稠密之網絡影響。

綜合上述比較結果，相較於作者合著、書目耦合與共被引三種單層網絡之間相互存在的排序差異，多層網絡的排序結果展現出「介於其間」（in-between）的特性。雖然在作者重要性排序上，多層網絡模型與共被引網絡的結果有較高相關，但仍具備納入作者合著、書目耦合網絡關係特徵之能力，顯示其補足單一關係結構之侷限與提供綜合視角之可能性。換言之，於圖書資訊學領域中，不同作者關係網絡所揭示之領域結構，仍存在不一致之情形，亦即此領域由學術影響力、知識基礎相似性、合作互動所構成之結構，相互有著不同之處。圖4與圖5之內容顯示，作者多層網絡在作者重要性排序上雖與作者共被引網絡之相似度最高，但其結果並未完全等同於作者共被引網絡，仍納入作者書目耦合與作者合著網絡所反映之資訊。而由相關係數之結果來看，相較於獨立分析各個單一網絡，而與扁平化形成的整合網絡相比，多層網絡模型較能整合納入不同類型網絡中之資訊。下節則檢視多層網絡之分群結果，分析其分群結果是否於作者對之主題相似性上具備更高一致性。

三、多層網絡分群結果分析

在分群結果的驗證上，本研究以關鍵詞耦合網絡檢核作者間主題鄰近程度，以確認各網絡經由Infomap分群法得到之作者社群是否具備主題凝聚性。具體來說，本研究假定若兩位作者被歸入同一社群，其研究主題傾向應較為相近，從而所使用之關鍵詞在關鍵詞耦合網絡中相對接近。據此，本研究以關鍵詞在關鍵詞耦合網絡中的鄰近程度衡量作者間之研究主題相似性，並據以評估分群結果之主題凝聚程度。因此，本研究以群內作者的主題距離作為判斷分群結果的基準。若同群作者使用的關鍵詞，在關鍵詞耦合網絡中呈現較短的路徑距離，則代表群中作者有較一致的研究主題；反之，則意味分群結果群間主題的區別能力上較為有限。

表2中顯示四種網絡中，同群與不同群作者之主題距離。結果顯示，2013～2022年間，作者被劃分為同群之平均主題距離明顯較低，顯示各網絡分群結果皆具有一定之主題區辨能力。合著網絡中同群作者之平均主題距離最低，反映直接合作所形成之群體通常具有較高之主題一致性。惟合著關係之形成門檻較高，許多研究主題相近但未直接合作之作者，仍可能被劃分為不同群，此反映於該網絡中不同群作者之平均主題距離亦較低。相較下，多層網絡之結果，雖未必於同群作者之主題距離上始終最低，但在整合書目耦合、共被引與合著三種關係後，仍維持穩定之主題凝聚表現。此外，多層網絡中不同群作者之間的平均主題距離亦維持一定幅度，顯示此模型在保留群內作者之主題相近性之外，也維持群與群之間的區隔。整體而言，多層網絡雖未在單一指標上呈現絕對優勢，但在整合不同作者關係、擴大涵蓋範圍的情況下，仍展現出穩定的主題凝聚與區辨效果。

表2
作者同群與不同群時之平均主題距離

年分	作者同群				作者不同群			
	Mn	BC	CC	Co	Mn	BC	CC	Co
2013	1.55	1.57	1.53	1.38	1.93	1.88	1.93	1.70
2014	1.62	1.67	1.63	1.40	1.92	1.87	1.91	1.75
2015	1.55	1.57	1.55	1.32	1.88	1.88	1.87	1.72
2016	1.58	1.57	1.63	1.33	1.90	1.90	1.89	1.76
2017	1.68	1.71	1.68	1.34	1.97	1.98	1.97	1.78
2018	1.59	1.61	1.59	1.39	1.96	1.96	1.94	1.77
2019	1.60	1.63	1.60	1.35	1.93	1.85	1.93	1.75
2020	1.64	1.63	1.64	1.36	1.86	1.83	1.87	1.70
2021	1.55	1.53	1.53	1.41	1.81	1.81	1.81	1.69
2022	1.62	1.71	1.64	1.41	1.85	1.84	1.83	1.76

註：Mn：多層網絡；BC：書目耦合；CC：共被引；Co：合著。

而在圖6至圖8中，呈現作者多層網絡與各單層網絡之比較結果。各圖中，橫軸表示年度，而縱軸為不同作者使用的關鍵詞，在關鍵詞耦合網絡中的平均最短路徑。圖中之四種不同標記，則代表作者多層網絡與單層網絡之分群結果是否一致。若不同作者在兩個網絡中均被分為同群

(圓形)時，代表在兩個網絡的視角下，都認為其研究主題較為相近，因此預期關鍵詞在關鍵詞耦合網絡中的平均最短路徑應較低。由圖可見，在作者多層網絡與三種不同的單層網絡對比時，各年度之圓形標記多位於最低位置，代表平均最短路徑長度最低、作者之間的主題最為相近。而若不同作者在兩個網絡中均被分成不同群時，則代表兩個網絡的視角中，均認為兩者的研究主題不同，此時則以三角形標示。

就本研究之目的，最值得關注的是在比較作者多層網絡與各單層網絡的分群結果時，兩者分群判定不一致的情形。當多層網絡將一對作者歸為同群，單層網絡卻將其分為不同群時，此類作者在關鍵詞耦合網絡中的平均最短路徑以菱形標示。若該類資料點在縱軸上的位置較高，表示這些在多層網絡中被視為同群的作者，其主題相似度較低，即多層網絡中的分群較不理想。另一情形則是多層網絡將一對作者分為不同群，而單層網絡將其歸為同群時，同類作者在關鍵詞耦合網絡中的平均最短路徑以方形標示。而當其縱軸值較高時，意味在單層網絡中被視為同群的作者，主題相似度較低，即單層網絡中的分群較不理想。

圖6為作者多層網絡與作者書目耦合網絡之比較結果。在2013～2014年間及2018～2022年間，可觀察到方形於縱軸上相對較高的位置。此結果顯示，當一對作者在作者書目耦合網絡中被劃分為同群，但在作者多層網絡中被分為不同群時，其所用之關鍵詞在關鍵詞耦合網絡中的平均路徑較長，即其主題相似度可能較低。此外，在2014年、2019年與2022年中，菱形與圓形在縱軸上的位置相近，代表在作者多層網絡將一對作者分為同群、而作者書目耦合網絡將其分為不同群時，該作者對在關鍵詞耦合網絡中的平均路徑，與同時在兩個網絡中皆被分為同群的作者對相近，顯示主題相似度可能較高。同時，在2018年與2021年中並未出現菱形，表示在作者多層網絡將作者對分入同群時，作者書目耦合網絡中均做出相同判斷，又因圓形在縱軸位置較低，代表平均路徑較短、主題相似度可能較高。綜合上述觀察，圖6之結果支持作者多層網絡的分群結果較能反映作者間主題上的一致性。

圖7呈現作者多層網絡與合著網絡之比較結果。在2013年、2015年、2017年、2020年與2021年中，均未出現方形，表示沒有出現在作者多層網絡中被分入不同群、但在合著網絡中被分為同群的作者對。而於前述年分中，菱形皆分布於三角形與圓形之間，顯示即使作者對僅在作者多層網絡中被分入同群時，其在關鍵詞耦合網絡中的平均路徑，仍低於同時在兩個網絡中皆被分為不同群的作者對，亦即其主題相似度仍可能較為一致。

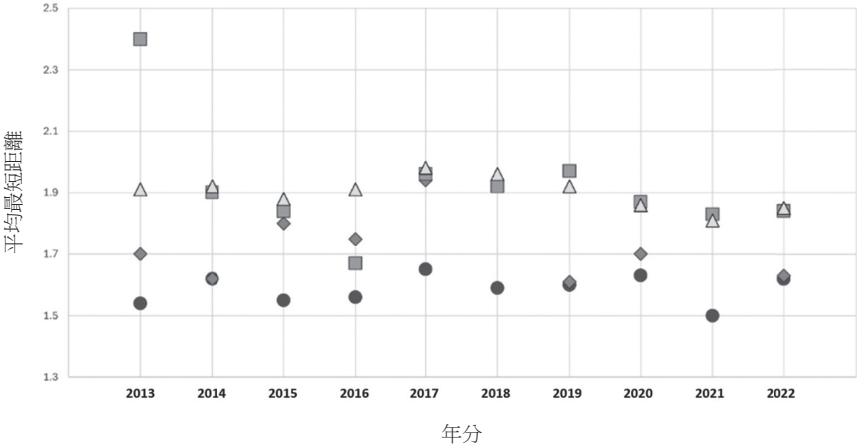


圖6 作者多層網絡與作者書目耦合網絡中，作者關鍵詞耦合網絡平均最短路徑比較

註：圓形係兩種網絡均將此對作者分為同群；三角形則指均分入不同群；菱形是僅多層網絡此對作者分入同群；方形則為僅作者書目網絡將此對作者分入同群。

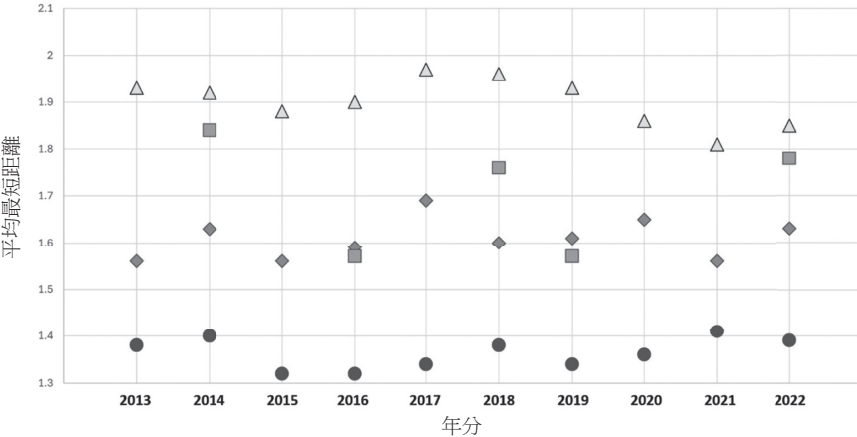


圖7 作者多層網絡與合著網絡中，作者關鍵詞耦合網絡平均最短路徑比較

註：圓形係兩種網絡均將此對作者分為同群；三角形則指均分入不同群；菱形是僅多層網絡此對作者分入同群；方形則為僅作者書目網絡將此對作者分入同群。

另外，在2014年、2018年與2022年中，菱形的縱軸位置低於方形，顯示當作者對僅在作者多層網絡中被分入同群、而在合著網絡中被分為不同群時，其關鍵詞主題相似度高於作者對僅在合著網絡中被分入同群的情形。雖然於2016年與2019年中，菱形之縱軸位置略高於方形，但差距不大。綜合上述觀察，圖7結果顯示，作者多層網絡的分群結果相較於合著網絡來說，較能反映作者間主題上的一致性。

圖8呈現作者多層網絡與作者共被引網絡之比較結果。相對先前之比較內容來說，此一結果之表現較有分歧。首先，在2019年與2020年中，作者對在兩個網絡中均被劃分為同群時，其在關鍵詞耦合網絡中的平均路徑長度並非最短。2019年中平均路徑長度最低者，出現於僅在作者共被引網絡中將作者對分為同群時；而在2020中平均路徑長度最低者，則出現於僅作者多層網絡將作者對分為同群時。其次，在2013年、2017年與2021年中亦觀察到，當作者對僅在作者多層網絡中被歸為同群時，其平均路徑長度偏高，甚至高於兩個網絡皆將其歸為不同群的情形。上述結果顯示，就部分年分而言，作者多層網絡之分群結果相較於作者共被引網絡，未必在同群作者的主題一致性上具有明顯優勢。但在其餘年分中，作者多層網絡的分群結果仍表現較佳的主題一致性。

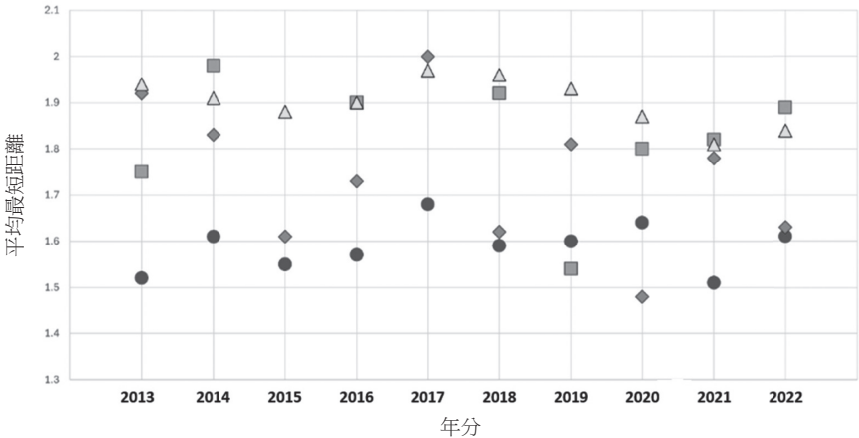


圖8 作者多層網絡與作者共被引網絡中，作者關鍵詞耦合網絡平均最短路徑比較

註：圓形係兩種網絡均將此對作者分為同群；三角形則指均分入不同群；菱形是僅多層網絡此對作者分入同群；方形則為僅作者書目網絡將此對作者分入同群。

由上述結果可見，就研究問題二而言，作者多層網絡中識別之同群作者，在多數年分與多數單層網絡之對照下，其相似度表現優於單層網絡，整體上呈現較高的主題一致性。首先，當作者對同時於作者多層網絡與任一單層網絡中被歸為同群時，其關鍵詞在關鍵詞耦合網絡上的平均最短路徑長度多偏短，顯示兩種方法在分群結果上達成一致時，該作者對之研究主題相似程度通常較高。而檢視僅於作者多層網絡、僅於任一單層網絡中被歸為同群之情形，前者在多數年分中具有較短的平均最短路徑，表示其主題相似度傾向較高。儘管在部分年度或特定單層網絡的對照下可觀察到例外情形，但綜合來說，結果仍顯示作者多層網絡在辨識作者間主題關聯上具有一定優勢，其同群作者對之主題相似度多呈現較佳的一致性表現。既有圖書資訊學作者網絡研究已指出，不同作者關係可能形成不同之社群結構。本研究進一步以作者關鍵詞書目耦合網絡之平均最短路徑，作為主題一致性的外部驗證基準。結果顯示，在多數年分及多數單層網絡之比較下，作者多層網絡所辨識之同群作者對，具有相對較高之主題一致性。就部分作者而言，即使未必存在直接合作關係，若其研究建立於相近知識基礎，或於後續文獻中被置於相似的引用脈絡之中，仍可能構成較具實質意義的研究社群。

相較於既有研究多著重比較不同單層作者關係網絡所呈現之社群結構差異，本研究之結果顯示，多層網絡模型同時納入合作關係、知識基礎相似性與被共同引用脈絡等面向後，整合不同關係所揭示之作者關聯資訊，形成對研究社群較具整合性之判斷。從此角度而言，多層網絡模型在整合異質關係網絡後，可結合不同關係衡量作者間之相似性，並整合不同單層網絡結構特徵，反映圖書資訊學領域中之研究社群結構。

伍、結論與建議

本研究以作者書目耦合、共被引與合著三種關係建構作者網絡，並採用多層網絡分析方法，檢視作者多層網絡在辨識核心作者與社群結構上，與單層網絡之優勢。比較三種單層網絡之結果顯示，不同關係所揭示的核心群體與社群結構並不相同，反映各網絡所對應的學科結構面向存在差異，因而單一關係難以完整描繪領域的核心結構。由核心作者群的組成情形來看，書目耦合與合著網絡之相似度相對較高，顯示作者的引用取向與合作關係具有一定程度的連動；相較下，共被引網絡則呈現知識在後續研究中被再利用的情形，提供不同於前兩者的觀察視角。作者重要性排序亦有所差異，僅書目耦合與合著兩者維持中度一致，其餘

組合多為低相關或無相關，顯示核心作者的辨識與重要性評估高度依賴所採用之關係類型。綜合而言，研究結果顯示單一關係難以完整描繪領域核心結構，而整合多種關係視角具有其方法論上的優勢。就學術貢獻而言，本研究進一步說明，多層網絡模型不僅可作為比較多種單層書目關係網絡的工具，更可作為整合異質書目關係之可操作性分析架構，補充既有書目計量學研究多停留於平行比較、較少真正整合分析之不足。因此，本研究進一步檢視多層網絡中辨識出之同群作者對，是否呈現較高的主題一致性。

研究結果顯示，作者多層網絡在核心作者辨識與主題關聯呈現上，具備整合三種單層作者關係網絡之優勢。雖然在重要性排序上，受到作者共被引網絡較大程度影響，但由整體排序結果來看，仍能一定程度反映書目耦合與合著網絡中，對於作者重要性的評估結果。本研究認為，研究結果中受到共被引網絡影響相對較大，因與其關係形成機制有關。就此而言，此一現象未必僅見於圖書資訊學領域，亦可能見於其他學科。後續研究於整合不同類型關係時，需考量各關係之形成特性與結構差異，並發展相應之調整方式，以降低分析結果受單一關係層主導之情形。

相較於單一關係分析所無法同時納入其他網絡中核心作者的侷限，多層網絡具備整合多種關係的能力。此外，本研究以作者關鍵詞書目耦合網絡之最短路徑衡量作者主題相似度。結果顯示，依據作者多層網絡進行分群時，同群作者之主題相似程度在多數年分與多數比較中呈現較佳表現，顯示多層網絡在整合不同關係所揭示之知識關聯時，仍具有一定之主題一致性優勢。此一發現表明，多層網絡在整合不同關係視角後，能捕捉單層網絡中未呈現的主題一致性，從而更全面反映作者間的知識關聯。換言之，本研究除驗證多層網絡模型可整合作者層級之異質書目關係外，由核心作者辨識、社群結構描繪與主題一致性的結果顯示此方法有發展為整合模型之潛力。

一、研究限制

本研究仍有若干限制。在資料來源方面，本文以圖書資訊學領域核心期刊於2013～2022年間之出版文獻作為分析對象，且因作者識別資訊需求、僅納入可由Scopus補充作者資料之文獻。因此，本研究結果較適合解釋圖書資訊學領域之作者關係結構，對其他學科領域之適用性仍有待進一步檢驗。研究中亦注意到，多層網絡之分析結果可能受到單一網絡影響較大。換言之，不同單層網絡在密度、權重分布與關係生成機制上的差異，可能導致多層網絡於整合時出現不均衡的情形。因此，

後續研究可發展各單層網絡結構特徵之權重正規化方案，以降低多層網絡模型受單一關係主導的程度，以期提升多層網絡在整合異質資訊時的表現。除關係權重設計外，未來亦可在不同實體、關係之分析層次上，擴充驗證範圍，如以文章、期刊或主題作為節點，結合不同關係建構網絡，或以其它學科領域之進行驗證，以檢驗多層網絡方法在不同研究對象與資料結構下的適用性與一般化潛力。此外，本研究採用muxViz套件提供之Infomap分群法，並以關鍵詞書目耦合網絡中的平均最短路徑作為主題一致性之驗證方式，亦建議使用其它分群方法或主題相似度之衡量方式，對此研究方向做進一步探討。

綜合而言，本研究為探討整合目前多種單層關係網絡之可能性，分析作者多層網絡是否能有效整合各單層作者關係網絡，結果顯示作者多層網絡分析在核心作者辨識、社群結構描繪與作者相似度評估上具有實質應用潛力。由於書目耦合、共被引與合著三種單層關係揭示之學科領域結構有所差異，單一關係難以完整呈現領域之結構。相較下，多層網絡具備整合異質關係網絡之能力，研究結果亦顯示其在整合不同作者關係網絡上的能力。因此，本研究提出以多層網絡整合不同作者關係之分析框架，並以研究結果驗證此分析框架具有整合多種單層關係網絡之潛力。後續研究可發展權重正規化方式，或檢驗不同學科領域之情形，以期發展此整合模型作為深化學科結構分析與知識關聯研究之用。

誌謝

本文為國家科學及技術委員會補助專題研究計畫「多重網絡與多層網絡分析方法於作者網絡分析之探討」（計畫編號NSTC 113-2410-H-032-031）之研究成果，特此感謝。

參考文獻

黃文彬、王冰璐、步一、閔超（2018）。關鍵字共引分析的科學計量方法研究。情報資料工作，39(2)，37-42。doi:10.3969/j.issn.1002-0314.2018.02.006 【Huang, W., Wang, B., Bu, Y., & Min, C. (2018). A study on scientometrics of co-citation analysis of keywords. *Information and Documentation Services*, 39(2), 37-42. doi:10.3969/j.issn.1002-0314.2018.02.006 (in Chinese)】

- Abrizah, A., Noorhidawati, A., & Zainab, A.N. (2015). LIS journals categorization in the Journal Citation Report: A stated preference study. *Scientometrics*, 102(2), 1083-1099. doi:10.1007/s11192-014-1492-3
- Alipour, O., Soheili, F., & Khasseh, A. A. (2022). A co-word analysis of global research on knowledge organization: 1900-2019. *Knowledge Organization*, 49(5), 303-315. doi:10.5771/0943-7444-2022-5-303
- Baccini, F., Barabesi, L., Baccini, A., Khelifaoui, M., & Gingras, Y. (2022). Similarity network fusion for scholarly journals. *Journal of Informetrics*, 16(1), 101226. doi:10.1016/j.joi.2021.101226
- Bianconi, G. (2018). *Multilayer networks: Structure and function*. Oxford, UK: Oxford University Press. doi:10.1093/oso/9780198753919.001.0001
- Boyack, K. W., & Klavans, R. (2010). Co-citation analysis, bibliographic coupling, and direct citation: Which citation approach represents the research front most accurately? *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(12), 2389-2404. doi:10.1002/asi.21419
- Callon, M., Courtial, J.-P., Turner, W. A., & Bauin, S. (1983). From translations to problematic networks: An introduction to co-word analysis. *Social Science Information*, 22(2), 191-235. doi:10.1177/053901883022002003
- De Bellis, N. (2014). History and evolution of (biblio)metrics. In B. Cronin & C. R. Sugimoto (Eds.), *Beyond bibliometrics: Harnessing multidimensional indicators of scholarly impact* (pp. 23-44). Cambridge, MA: MIT Press. doi:10.7551/mitpress/9445.003.0004
- de Domenico, M. (2022). *Multilayer network: Analysis and visualization: Introduction to muxViz with R*. Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-030-75718-2
- de Domenico, M., Lancichinetti, A., Arenas, A., & Rosvall, M. (2015). Identifying modular flows on multilayer networks reveals highly overlapping organization in interconnected systems. *Physical Review X*, 5(1), 011027. doi:10.1103/PhysRevX.5.011027
- de Domenico, M., Porter, M. A., & Arenas, A. (2015). MuxViz: A tool for multilayer analysis and visualization of networks. *Journal of Complex Networks*, 3(2), 159-176. doi:10.1093/comnet/cnu038
- de Domenico, M., Solé-Ribalta, A., Cozzo, E., Kivelä, M., Moreno, Y., Porter, M. A., ... Arenas, A. (2013). Mathematical formulation of multilayer

- networks. *Physical Review X*, 3(4), 041022. doi:10.1103/PhysRevX.3.041022
- deB Beaver, D., & Rosen, R. (1979). Studies in scientific collaboration Part III. Professionalization and the natural history of modern scientific co-authorship. *Scientometrics*, 1(3), 231-245. doi:10.1007/BF02016308
- Dickson, M. E., Magnani, M., & Rossi, L. (2016). *Multilayer social networks*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139941907
- Draux, H. (2021). Visualization of research metrics. In R. Ball (Ed.), *Handbook bibliometrics* (pp. 365-376). Berlin, Germany: De Gruyter Saur. doi:10.1515/9783110646610-035
- Hammoud, Z., & Kramer, F. (2020). Multilayer networks: Aspects, implementations, and application in biomedicine. *Big Data Analytics*, 5(1), 2. doi:10.1186/s41044-020-00046-0
- Hota, P. K., Subramanian, B., & Narayanamurthy, G. (2020). Mapping the intellectual structure of social entrepreneurship research: A citation/co-citation analysis. *Journal of Business Ethics*, 166(1), 89-114. doi:10.1007/s10551-019-04129-4
- Hsiao, T.-M., & Chen, K.-H. (2019). Word bibliographic coupling: Another way to map science field and identify core references. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 56(1), 107-116. doi:10.1002/pr2.10
- Hsiao, T.-M., & Chen, K.-H. (2020). The dynamics of research subfields for library and information science: An investigation based on word bibliographic coupling. *Scientometrics*, 125(1), 717-737. doi:10.1007/s11192-020-03645-9
- Huang, M.-H., Shaw, W.-C., & Lin, C.-S. (2019). One category, two communities: Subfield differences in "Information Science and Library Science" in Journal Citation Reports. *Scientometrics*, 119(2), 1059-1079. doi:10.1007/s11192-019-03074-3
- Iacovacci, J., Wu, Z., & Bianconi, G. (2015). Mesoscopic structures reveal the network between the layers of multiplex data sets. *Physical Review E*, 92(4), 042806. doi:10.1103/PhysRevE.92.042806
- Kessler, M. M. (1963). Bibliographic coupling between scientific papers. *American Documentation*, 14(1), 10-25. doi:10.1002/asi.5090140103

- Kivelä, M., Arenas, A., Barthelemy, M., Gleeson, J. P., Moreno, Y., & Porter, M. A. (2014). Multilayer networks. *Journal of Complex Networks*, 2(3), 203-271. doi:10.1093/comnet/cnu016
- Li, W., Tian, L., Gao, X., & Pan, B. (2019). Impacts of information diffusion on green behavior spreading in multiplex networks. *Journal of Cleaner Production*, 222, 488-498. doi:10.1016/j.jclepro.2019.03.067
- Marshakove-Shaikevich, I. (1973). System of document connections based on references. *Nauchnaya i Tekhnicheskaya Informatsiya*, 6, 3-8.
- McGee, F., Renoust, B., Archambault, D., Ghoniem, M., Kerren, A., Pinaud, B., ... von Landesberger, T. (2021). *Visual analysis of multilayer networks*. San Rafael, CA: Morgan & Claypool Publishers.
- Miccio, L. A., Agapitos, P., Gamez-Perez, C., González, F., Suarez, J. L., & Schwartz, G. A. (2025). Wikipedia as a cultural lens: A quantitative approach for exploring cultural networks. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 462. doi:10.1057/s41599-025-04772-5
- Qiu, J.-P., Dong, K., & Yu, H.-Q. (2014). Comparative study on structure and correlation among author co-occurrence networks in bibliometrics. *Scientometrics*, 101(2), 1345-1360. doi:10.1007/s11192-014-1315-6
- Rose, M. E., & Kitchin, J. R. (2019). pybliometrics: Scriptable bibliometrics using a Python interface to Scopus. *SoftwareX*, 10, 100263. doi:10.1016/j.softx.2019.100263
- Shibata, N., Kajikawa, Y., Takeda, Y., & Matsushima, K. (2009). Comparative on methods of detecting research fronts using different types of citation. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(3), 571-580. doi:10.1002/asi.20994
- Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24(4), 265-269. doi:10.1002/asi.4630240406
- Smojver, V., Štorga, M., & Zovak, G. (2021). Exploring knowledge flow within a technology domain by conducting a dynamic analysis of a patent co-citation network. *Journal of Knowledge Management*, 25(2), 433-453. doi:10.1108/JKM-01-2020-0079
- Taubert, N. (2021). Institutionalization and professionalization of bibliometric. In R. Ball (Ed.), *Handbook bibliometrics* (pp. 19-26). Berlin, Germany: De Gruyter Saur. doi:10.1515/9783110646610-004

- Uzzi, B., Mukherjee, S., Stringer, M., & Jones, B. (2013). Atypical combinations and scientific impact. *Science*, 342(6157), 468-472. doi:10.1126/science.1240474
- Wang, F., Dong, J., Lu, W., & Xu, S. (2023). Collaboration prediction based on multilayer all-author tripartite citation networks: A case study of gene editing. *Journal of Informetrics*, 17(1), 101374. doi:10.1016/j.joi.2022.101374
- Wang, J., Cheng, Q., Lu, W., Dou, Y., & Li, P. (2023). A term function-aware keyword citation network method for science mapping analysis. *Information Processing and Management*, 60(4), 103405. doi:10.1016/j.ipm.2023.103405
- White, H. D., & Griffith, B. C. (1981). Author cocitation: A literature measure of intellectual structure. *Journal of the American Society for Information Science*, 32(3), 163-171. doi:10.1002/asi.4630320302
- Yan, E., & Ding, Y. (2012). Scholarly network similarities: How bibliographic coupling networks, citation networks, cocitation networks, topical networks, coauthorship networks, and coword networks relate to each other. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(7), 1313-1326. doi:10.1002/asi.22680
- Yang, S., Han, R., Wolfram, D., & Zhao, Y. (2016). Visualizing the intellectual structure of information science (2006-2015): Introducing author keyword coupling analysis. *Journal of Informetrics*, 10(1), 132-150. doi:10.1016/j.joi.2015.12.003
- Yang, S., Xing, X., & Wolfram, D. (2018). Difference in the impact of open-access papers published by China and the USA. *Scientometrics*, 115(2), 1017-1037. doi:10.1007/s11192-018-2697-7
- Zhang, R. J., & Ye, F. Y. (2020). Measuring similarity for clarifying layer difference in multiplex ad hoc duplex information networks. *Journal of Informetrics*, 14(1), 100987. doi:10.1016/j.joi.2019.100987
- Zhao, D., & Strotmann, A. (2008a). Author bibliographic coupling: Another approach to citation-based author knowledge network analysis. *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology*, 45(1), 1-10. doi:10.1002/meet.2008.1450450292
- Zhao, D., & Strotmann, A. (2008b). Evolution of research activities and intellectual influences in information science 1996-2005: Introduction

- author bibliographic-coupling analysis. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59(13), 2070-2086. doi:10.1002/asi.20910
- Zhao, D., & Strotmann, A. (2008c). Information science during the first decade of the web: An enriched author cocitation analysis. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59(6), 916-937. doi:10.1002/asi.20799
- Zhao, D., & Strotmann, A. (2014). The knowledge base and research front of information science 2006-2010: An author cocitation and bibliographic coupling analysis. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 65(5), 995-1006. doi:10.1002/asi.23027

附錄一：核心期刊清單

1. African Journal of Library Archives and Information Science
2. Annual Review of Information Science and Technology
3. ASLIB Proceedings
4. Australian Academic and Research Libraries
5. Australian Library Journal
6. Canadian Journal of Information and Library Science
7. College and Research Libraries
8. Econtent
9. Electronic Library
10. Government Information Quarterly
11. Health Information and Libraries Journal
12. Informacao and Sociedade Estudos
13. Informacios Tarsadalom
14. Information and Culture
15. Information Development
16. Information Processing and Management
17. Information Research an International Electronic Journal
18. Information Society
19. Information Technology and Libraries
20. Interlending and Document Supply
21. International Journal of Geographical Information Science
22. Investigacion Bibliotecologica
23. Journal of Academic Librarianship
24. Journal of Data and Information Science
25. Journal of Documentation
26. Journal of Health Communication
27. Journal of Information Science
28. Journal of Informetrics
29. Journal of Knowledge Management
30. Journal of Librarianship and Information Science
31. Journal of Scholarly Publishing
32. Journal of the American Medical Informatics Association
33. Journal of the Association for Information Science and Technology

34. Journal of the Medical Library Association
35. Knowledge Management Research and Practice
36. Knowledge Organization
37. Law Library Journal
38. Learned Publishing
39. Library and Information Science
40. Library and Information Science Research
41. Library Hi Tech
42. Library Journal
43. Library Quarterly
44. Library Resources and Technical Services
45. Library Trends
46. Libri
47. Malaysian Journal of Library and Information Science
48. Online
49. Online Information Review
50. Perspectivas em Ciencia da Informacao
51. Portal Libraries and the Academy
52. Profesional de la Informacion
53. Program Electronic Library and Information Systems
54. Quantitative Science Studies
55. Reference And User Services Quarterly
56. Research Evaluation
57. Restaurator International Journal for the Preservation of Library and Archival Material
58. Revista Espanola de Documentacion Cientifica
59. Scientist
60. Scientometrics
61. Serials Review
62. Social Science Information sur les Sciences Sociales
63. Transinformacao
64. Zeitschrift für Bibliothekswesen und Bibliographie

Integrating Bibliographic Relations Using a Multilayer Network Model: An Author-Level Analysis of Library and Information Science

Tsung-Ming Hsiao

Assistant Professor
Department of Information and Library Science
Tamkang University

Introduction

Bibliometrics has widely used network analysis to examine scholarly development, including topics evolution (Alipour, Soheili, & Khasseh, 2022; Smojver, Štorga, & Zovak, 2021), influential publications (Hota, Subramanian, & Narayanamurthy, 2020; Yang, Xing, & Wolfram, 2018), and core authors (Yang, Han, Wolfram, & Zhao, 2016; Zhao & Strotmann, 2008c, 2014). Common bibliometric relationships, such as direct citation, co-citation, co-authorship, and bibliographic coupling, have been used to construct networks among publications (Kessler, 1963; Marshakove-Shaikovich, 1973; Small, 1973), authors (White & Griffith, 1981; Zhao & Strotmann, 2008a), and topics (Hsiao & Chen, 2020). Prior studies suggest that networks based on different relationships reveal different aspects of a scholarly field (Boyack & Klavans, 2010; Qiu, Dong, & Yu, 2014; Shibata, Kajikawa, Takeda, & Matsushima, 2009; Yan & Ding, 2012; Zhao & Strotmann, 2008a, 2008b). Therefore, existing research often analyzes multiple monoplex networks in parallel to obtain diverse perspectives.

However, limited attention has been paid to whether integrating these relationships can provide a more comprehensive representation of scholarly structures. In network science, multilayer network models have been developed to connect multiple monoplex networks through inter-layer links among the same nodes across layers (de Domenico, 2022). Such models allow researchers to analyze nodes, communities, and structural features while considering

interactions among different types of relationships (Baccini, Barabesi, Baccini, Khelifaoui, & Gingras, 2022; Bianconi, 2018; Iacovacci, Wu, & Bianconi, 2015; Li, Tian, Gao, & Pan, 2019).

This study regards direct citation, co-citation, co-authorship, and bibliographic coupling as heterogeneous bibliometric relations and introduces a multilayer network approach into bibliometric analysis. Using Web of Science data from information science and library science between 2013 and 2022, this study constructs multiple author networks based on different bibliometric relationships and integrates them into an author multilayer network. It then examines whether the multilayer network produces results consistent with single-relation author networks in identifying key authors and research communities, and whether authors grouped together in the multilayer network show higher similarity in their research topics.

1. Compared with author networks constructed from a single type of relationship, does the multilayer author network produce consistent results in identifying key authors and research communities?
2. Compared with single-relation author networks, do authors grouped together in the multilayer network exhibit higher similarity in their research topics?

Methodology

This study used journal publications in library and information science as its sample. Based on prior WoS-based journal classification studies, 64 core journals were selected, and 76,885 bibliographic records published between 2013 and 2022 were downloaded from WoS. To address author disambiguation using Scopus IDs, Scopus records were retrieved via pybliometrics, a Python-based API-Wrapper, using DOIs (digital object identifiers), yielding a final dataset of 56,969 publications.

Three annual author networks were then constructed: co-authorship, bibliographic coupling, and co-citation networks. These networks respectively capture collaboration patterns, similarities in authors' knowledge bases, and the extent to which authors are jointly cited. Edge weights were defined according to network type: the number of coauthored publications, the overlap of references used by authors, and the frequency with which two authors were

co-cited. To reduce scale differences across networks, all edge weights were standardized as z-scores within each network.

For each network, the top 100 authors were selected as core authors according to the following criteria. In the co-authorship and bibliographic coupling networks, authors were first screened by annual publication output and then ranked by strength centrality. In the co-citation network, the most 100 cited authors each year were selected. Since core author lists did not fully overlap, all authors appearing in any list were merged into a common author set, from which corresponding subnetworks were extracted.

The three networks were integrated into a multilayer author network using muxViz. Author importance was assessed through degree centrality, strength centrality, and PageRank centrality, and ranking consistency across networks was examined with Spearman correlations. Community structures were identified using Infomap.

To evaluate the validity of community detection, this study constructed a keyword bibliographic coupling network based on author keywords. The average shortest path between keywords used by each pair of authors was calculated as a measure of topical similarity. If authors in the same community showed shorter keyword-based distances than authors in different communities, the clustering result was considered more consistent with topical similarity.

Results and Discussion

This study first constructed three single-layer author networks based on bibliographic coupling, co-citation, and co-authorship, and compared the composition and ranking of core authors across these networks. The results show that the core authors identified by different relationships varied substantially. Although a small number of authors were consistently identified as core authors across all three networks, most core groups differed by network types. The overlap between the core authors identified by bibliographic coupling and co-authorship networks was relatively high, suggesting a connection between authors' collaboration patterns and similarities in their knowledge bases. In contrast, the core authors identified by the co-citation network showed much lower overlap with the other two networks.

The comparison of author importance rankings further supports this finding. Using degree centrality, strength centrality, and PageRank centrality, the ranking similarity between bibliographic coupling and co-authorship networks was the highest, while the similarities involving the co-citation network were generally low or close to unrelated. These results indicate that the identification and evaluation of core authors depend strongly on the type of bibliometric relationship used. Therefore, relying on a single author relationship network may be insufficient for capturing the core structure of a scholarly field.

The multilayer author network constructed with muxViz provides a more integrative perspective. Compared with the three single-layer networks, the multilayer network showed the highest ranking similarity with the co-citation network, followed by the bibliographic coupling network, and the lowest similarity with the co-authorship network. This pattern may be related to the different formation mechanisms and structural characteristics of the three relationships. Co-authorship requires actual joint publication and thus produces a relatively sparse network. Bibliographic coupling has a lower formation threshold, as it depends on overlapping references. Co-citation is even broader, as two authors can be connected whenever they are cited together in later publications, resulting in denser connections and stronger influence within the multilayer model.

However, the multilayer network was not simply equivalent to the co-citation network. It still incorporated information from bibliographic coupling and co-authorship networks, preserving structural features that might be absent in any single layer. The results suggest that the multilayer network occupies an “in-between” position among the three single-layer networks and can integrate heterogeneous author relationships while reducing the limitations of single-relation analysis.

This study also examined community detection results by comparing the topical similarity of author pairs within and across communities. A keyword bibliographic coupling network was used as an external validation criterion, and the average shortest path between authors' keywords was used to measure topical similarity.

In comparisons with bibliographic coupling and co-authorship networks, author pairs classified into the same community only by the multilayer

network often showed shorter topical distances than those classified together only by the single-layer networks. This suggests that the multilayer network can identify meaningful topical associations that are not fully captured by individual relationships. The comparison with the co-citation network was more mixed, indicating that co-citation may sometimes capture topic-related communities more effectively in specific years. Nevertheless, across most years and comparisons, the multilayer network showed comparable or better topical coherence. Compared with single-layer networks, the multilayer network generally produced communities with stable topical consistency.

Overall, the findings suggest that different author relationship networks reveal distinct aspects of disciplinary structure, including collaboration, shared knowledge bases, and citation-based influence. By integrating these heterogeneous relations, the multilayer network provides a more comprehensive framework for identifying core authors and research communities in library and information science.

Conclusion

This study constructed author networks based on bibliographic coupling, co-citation, and co-authorship, and applied a multilayer network approach to examine whether the multilayer network is capable of identifying core authors and community structures. The results show that the three single-layer networks reveal different core authors and community patterns, suggesting that each relationship captures a distinct aspect of the disciplinary structure. Thus, relying on a single relationship is insufficient for fully depicting the core structure of a field.

The multilayer author network demonstrates advantages in integrating heterogeneous author relations. Although its author ranking is more strongly influenced by the co-citation layer, the overall results still partly reflect the importance patterns found in bibliographic coupling and co-authorship networks. In terms of community detection, authors grouped in the multilayer network generally show higher topical consistency, measured by the average length of shortest paths in the author keyword bibliographic coupling network. This indicates that the multilayer approach can capture the authors' topic similarity that may not be fully observed in single-layer networks.

This study contributes by proposing an operational framework for integrating heterogeneous bibliometric relations. However, several limitations remain. The analysis is limited to library and information science publications from 2013 to 2022, and the results may be influenced by differences in network density, weight distribution, and relationship formation mechanisms. Future research may develop weight normalization strategies, test the approach across other disciplines, compare alternative clustering methods, and apply the framework to other entities such as papers, journals, or topics.