

國立交通大學

理學院應用科技學程

碩士論文

台灣科技合作研究社群複雜網絡結構特性分析

Complex Networks Structure Characteristic Analysis of

Joint Research Projects Community in Taiwan

研究生：陳俊瑋

指導教授：孫春在 教授

中華民國九十七年六月

台灣科技合作研究社群複雜網絡結構特性分析

Complex Networks Structure Characteristic Analysis of
Joint Research Projects Community in Taiwan

研究生：陳俊瑋

Student：Chun-Wei Chen

指導教授：孫春在

Advisor：Chuen-Tsai Sun

國立交通大學

理學院應用科技學程

碩士論文

1896

A Thesis

Submitted to Degree Program of Applied Science and Technology

College of Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Degree Program of Applied Science and Technology

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

台灣科技合作研究社群複雜網絡結構特性分析

學生：陳俊瑋

指導教授：孫春在 博士

國立交通大學理學院應用科技學程碩士班

摘 要

台灣科技創新體系內為因應現階段科技研究創新政策進而持續投入大量研究經費，但是資源有限條件下之科研經費應如何有效且合理地分配給進行科研計畫的廣大社群成員卻是個難題，本研究藉由台灣國科會 GRB 搜尋系統各年度合作研究複雜網絡之資料集轉換成為有效網絡數據，運用 UCINET 網絡分析平台進行內聚力、小團體、自我網絡、中心性、角色位置與幂次定率等分析程序以及 NetDraw 探勘繪製出各年度複雜網絡結構圖形並以 SPSS 對各年度樣本作描述統計分析，實證分析各年度網絡內個別大小社群間連結特性，得以解決目前國科會科技計畫績效管考與 GRB 搜尋系統等平台難以單獨地將各年度合作研究複雜網絡社群結構作驗證及辨別區分與如何將其重疊結構分形性圖形化出來等問題。

就 GRB 搜尋系統歷年來資料集內六大研究領域暨八十一個次研究領域，彙整為實質網絡數據，依據本研究所提出「以計畫主持人 (PI) 為網絡結構重疊模體 (motif) 三維模型」為電腦模擬分析模型基礎，進而形成各依年度區別之台灣科技合作研究社群複雜網絡整體結構，探勘完整科研合作研究社群網絡重疊結構暨個別自我網絡模體，分析相關複雜交互影響作用的結構特性並加以圖形化。

本研究完成台灣科技研究社群之複雜網絡整體結構與個別重疊社群結構之特性驗證分析，驗證出「無尺度」、「小世界」與「分形性」等複雜網絡特徵，發現並建議以「集結節點」、「群體中心性」及「門檻比率」作為調控管理下一年度合作研究社群網絡結構之重要參考依據。

關鍵字：複雜網路、重疊社群結構、無尺度、小世界、分形性、共事網絡。

Complex Networks Structure Characteristic Analysis of Joint Research Projects Community in Taiwan

Student : Chun-Wei Chen

Advisor : Chuen-Tsai Sun

Degree Program of Applied Science and Technology
College of Science
National Chiao Tung University

ABSTRACT

At present, the essence situation of Joint Research Projects Community in Taiwan lacks a complex networks structure characteristic analysis as definite as in Scale free, Small world, Fractal, et cetera. In the Joint Research Projects Community networks, there are many subgraphs and overlapping structures inside them. The thesis research designs the multiple dimensions ego network motif of principal investigators and readies for exploring all motifs of annual real networks data sourced by the government research bulletin of Taiwan National Science Council.

The thesis research in estimating, analyzing and graph-drawing for the Joint Research Projects Community networks in Taiwan, it makes use of SPSS 15.0, UCINET 6.186 and NetDraw 2.076 for Windows to compute all real data of sampling survey, after analyzing to demonstrate the complex networks structure characteristics with several analysis processes such as Cohesion, Subgroups/Cliques, Centrality Measures, Group Centrality, Roles and Positions, Power Law and Networks Graph.

The conclusion reveals a special significance of specific projects management, means that the group centrality and threshold rate of each annual Joint Research Projects Community of Taiwan, should be monitored and operated it in coordination with specific projects member and drawn up new policies of the authorities, then the national innovation system resource will be effective to distribute in the future. The thesis research successfully tests and verifies all complex networks structure characteristics of Joint Research Projects Community, also draws out all subgraphs and the entirety graphs in each year.

Key words: Complex network, Overlapping community structure, Scale free,
Small world, Fractal, Affiliation networks, UCINET, NetDraw.

誌謝

本論文之完成，首先衷心感謝指導教授 孫春在博士這兩年來的悉心指導與支持鼓勵。兩年時光裡，由碩一上學期迄今...每週在學習實驗室與學長姐們研究見習與參與討論，從研究主題選定、通過開題簡報審定、進行相關文獻探討、研究方向掌握、架構建立與觀念澄清、研究方法引導、論文寫作修正直至本文撰寫完成，孫老師諄諄指導與啟迪，並對論文內容多次講解評析，使本研究論文得以順利完成，師恩浩瀚，永銘在心。另蒙獲口試委員袁賢銘教授、陳永富教授（亦是光電科技授課老師...教得超棒！）諸多寶貴建議與指正，更致以誠摯感謝。

感謝兩年來研究所學習生活裡所有嚴謹教課的教授們，也感謝理學院應用科技學程的所有同學，豐富的課堂內容與積極的學習氣氛，讓俊瑋學得許多相關理科學應用領域的基礎理論與實務經驗。特別要感謝應用科技組的授課老師與同學們，兩年來費心在應用科技相關議題方面與俊瑋相互討論激盪與活絡實務經驗，以助我紮實地累積應用科技產業如光電工程、半導體製程、奈米科技、液晶顯示、生物醫藥等前瞻科技領域相關專業知識、著實地訓練和強化俊瑋對應用科技研究評析的學術識能，憑藉嚴密邏輯訓練，才使得本研究能順利進行與付梓完成。

感謝同實驗室已畢業的崇源學長（助理教授）、攻讀博士班的吉龍學長、佩嵐學姐、家胤學長、國維學長與宇軒學長等人兩年來對俊瑋的指教與照顧，同實驗室且為理學院應科組同學的昌賢、芊君、齡玉、恆毅、渝龍與哲強等人兩年來並肩研究情誼，與同住台北的昌賢、芊君、齡玉、恆毅等人在同車往返台北、新竹的每個路程得開懷暢談有關應用科技專題研究的心得與生活體驗。在論文寫作期間，指導教授、諸位學長姐與同學們對論文所提供許多寶貴建議，讓俊瑋在原本耗時費心的研究過程中，得以順暢地貫通精進，這份學習情感，將存心永續。

父母家人的關懷與支持，讓我在撰寫論文最後完稿前那段夜以繼日、勞心費神的日子裡得以慰藉，感謝賢妻淑惠對家庭與事業的盡心打理以及對我無限地照料與體諒，使我能順利完成第二個碩士學業歷程與論文撰寫，對於兩個年幼兒子雲億與霆鈞的疏離照護，畢業學成後必當倍加關注，衷心感謝他們無私地付出。

陳俊瑋 謹誌於
國立交通大學理學院
2008年6月

目錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	vi
圖目錄	.....	vii
一、	緒論.....	1
1.1	研究動機.....	1
1.2	研究背景.....	2
1.3	研究目標.....	4
1.4	研究流程與論文架構.....	5
二、	文獻探討.....	7
2.1	複雜網絡理論與結構特性.....	8
2.1.1	無尺度網絡.....	9
2.1.2	小世界網絡現象.....	11
2.1.3	網絡分形性.....	14
2.1.4	共事網絡.....	16
2.1.5	複雜網絡結構特性.....	18
2.2	圖形理論與網絡社群結構圖形化.....	30
2.2.1	圖形理論.....	30
2.2.2	網絡社群結構圖形化.....	32
2.3	網絡社群結構分析計量演算方法.....	33
2.4	網絡分析應用軟體與網絡關係數據.....	35
2.4.1	網絡分析應用軟體.....	35
2.4.2	網絡關係數據.....	36
2.5	國家創新系統與合作研究科技專案.....	38
2.5.1	國家創新系統.....	38
2.5.2	合作研究科技專案.....	39
三、	研究方法與實驗設計.....	40
3.1	網絡模型設計.....	40
3.2	網絡模型驗證方法.....	43
3.2.1	內聚力分析.....	43
3.2.2	小團體分析／派系分析.....	45
3.2.3	自我網絡密度分析.....	48
3.2.4	中心性分析.....	49
3.2.5	群體中心性分析.....	52
3.2.6	角色位置分析.....	53

3.2.7	幕次定率分析.....	55
3.2.8	社群重疊結構圖形分析.....	56
3.3	數值衡量與操作定義.....	57
3.4	實證分析流程.....	58
四、	實驗分析與研究結果.....	59
4.1	網絡數據描述統計分析.....	59
4.1.1	GRB 合作研究 94 年度網絡數據描述統計分析.....	60
4.1.2	GRB 合作研究 95 年度網絡數據描述統計分析.....	64
4.1.3	GRB 合作研究 96 年度網絡數據描述統計分析.....	67
4.2	網絡模型實證分析.....	70
4.2.1	94 年度合作研究社群整體複雜網絡結構模型實證分析	70
4.2.2	95 年度合作研究社群整體複雜網絡結構模型實證分析	71
4.2.3	96 年度合作研究社群整體複雜網絡結構模型實證分析	72
4.2.4	94 年度合作研究社群研究領域重疊結構模型實證分析	73
4.2.5	95 年度合作研究社群研究領域重疊結構模型實證分析	74
4.2.6	96 年度合作研究社群研究領域重疊結構模型實證分析	75
4.3	網絡特性實證分析.....	76
4.3.1	94 年度合作研究社群研究網絡特性分析	76
4.3.2	95 年度合作研究社群研究網絡特性分析	79
4.3.3	96 年度合作研究社群研究網絡特性分析	83
4.3.4	各年度合作研究社群研究網絡特性分析	86
4.4	網絡圖形化模體分析.....	91
五、	結論.....	96
5.1	研究結論.....	96
5.2	研究建議.....	99
5.2.1	對台灣科技專案計劃相關政府主管機關的建議.....	99
5.2.2	對參與合作研究科專先進的建議.....	100
5.2.3	對未來相關複雜網絡研究者的建議.....	101
	參考文獻.....	102

表目錄

表 1	無尺度網絡實例.....	7
表 2	複雜網絡的實際統計數據彙整表.....	29
表 3	本研究實驗設計之網絡特性分析相關數值衡量與操作定義彙 整表.....	57
表 4	94 年度網絡數據描述統計分析總表	61
表 5	94 年度個別科專參與成員數	61
表 6	94 年度個別科專研究領域選定數	62
表 7	94 年度個別科專研究性質類別	62
表 8	94 年度個別科專研究期間月數	63
表 9	94 年度個別科專研究經費(萬元)	63
表 10	95 年度網絡數據描述統計分析總表	64
表 11	95 年度個別科專參與成員數	64
表 12	95 年度個別科專研究領域選定數	65
表 13	95 年度個別科專研究性質類別	65
表 14	95 年度個別科專研究期間月數	66
表 15	95 年度個別科專研究經費(萬元)	67
表 16	96 年度網絡數據描述統計分析總表	67
表 17	96 年度個別科專參與成員數	68
表 18	96 年度個別科專研究領域選定數	68
表 19	96 年度個別科專研究性質類別	69
表 20	96 年度個別科專研究期間月數	69
表 21	96 年度個別科專研究經費(萬元)	70
表 22	94 年度合作研究社群網絡特性分析相關數值衡量結果彙整 表.....	77
表 23	95 年度合作研究社群網絡特性分析相關數值衡量結果彙整 表.....	80
表 24	96 年度合作研究社群網絡特性分析相關數值衡量結果彙整 表.....	83
表 25	94、95 與 96 年度合作研究社群網絡特性分析相關數值衡量 結果比較彙整表.....	90

圖目錄

圖 1	本論文研究流程與論文架構示意圖	6
圖 2	隨機網絡與無尺度網絡節點連接度分佈比較圖	10
圖 3	台灣公路系統圖 (隨機網絡示意圖)	11
圖 4	兩岸航空系統圖 (無尺度網絡示意圖)	11
圖 5	介於規則網絡與隨機網絡之間的小世界網絡模型	12
圖 6	重新正常化群體分析的 NW 小世界網絡模型示意圖	13
圖 7	重整化成長方法運用於大腸桿菌代謝網絡分形性實際關聯示意圖	15
圖 8	共事網絡結構暨二分關聯網絡圖形	17
圖 9	具有多重度數值之科研計畫合作自我網絡實例圖	20
圖 10	重疊社群結構概念圖	22
圖 11	多重代理人系統暨社會分身點網絡概念圖	23
圖 12	社會分身點暨細胞自動機之模擬分析模型圖	24
圖 13	以計畫主持人為重疊社群結構之自我網絡結構重疊模體三維模型圖	25
圖 14	簡單結構重疊模體子圖形 (單個自我網絡組成)	25
圖 15	簡單結構重疊模體子圖形 (三個自我網絡組成)	26
圖 16	網絡圖形密度比較示意圖	31
圖 17	工作表格式網絡數據矩陣圖形化示意圖	32
圖 18	國家創新系統科技專案計畫互動模式示意圖	38
圖 19	台灣政府研究資訊系統介面圖	40
圖 20	台灣政府研究資訊智慧搜尋系統計劃詳目介面圖	41
圖 21	台灣科技合作研究社群自我網絡結構重疊模體三維模型設計	42
圖 22	三倍體傳遞性與網絡漣漪效應示意圖	44
圖 23	不同網絡規模派系子圖形比較示意圖	45
圖 24	相同網絡規模所屬 N-派系子圖形比較示意圖	46
圖 25	不同網絡規模所屬 N-派系與 N-宗派子圖形比較示意圖	47
圖 26	網絡規模為 6 所屬 N-派系與 K-叢派子圖形比較示意圖	48
圖 27	簡單塊模型	54
圖 28	等級式塊模型示意圖	54
圖 29	無尺度網絡特徵一節點連接度呈冪次定律分佈	56
圖 30	本研究實證分析流程圖	58
圖 31	94 年度合作研究社群整體複雜網絡結構圖	70
圖 32	95 年度合作研究社群整體複雜網絡結構圖	71
圖 33	96 年度合作研究社群整體複雜網絡結構圖	72
圖 34	94 年度合作研究社群研究領域重疊結構圖	73
圖 35	95 年度合作研究社群研究領域重疊結構圖	74

圖 36	96 年度合作研究社群研究領域重疊結構圖	75
圖 37	合作研究社群自我網絡動態圖形模體分析範例圖(1)	91
圖 38	合作研究社群自我網絡動態圖形模體分析範例圖(2)	92
圖 39	合作研究社群自我網絡動態圖形模體分析範例圖(3)	93
圖 40	合作研究社群自我網絡動態圖形模體分析範例圖(4)	93
圖 41	合作研究社群自我網絡動態圖形模體分析範例圖(5)	94
圖 42	94 年度「食品科技」與「生物科技」等研究領域重疊結構圖...	95
圖 43	95 年度「食品科技」與「生物科技」等研究領域重疊結構圖...	95
圖 44	各年度合作研究科技專案計畫個數分布圖	96

第一章 緒論

1.1 研究動機

台灣國科會為因應現階段科技研究創新政策而持續投入大量研究經費，但是資源有限條件下之科研經費應如何有效且合理地分配給進行科研計畫的廣大社群成員卻是個難題，許多科研人員所處社群可依其計畫主持人所屬執行單位區分，但其科技專案計畫研究人員可能是個人即計畫主持人（principal investigator, PI）或是兩人以上所共同合作研究（Joint Research Projects）之社群（其來自於不同校院體系或產學研等機構所隸屬之科研人員，且這些科專參與研究人員又可能是另一些科專之計畫主持人），在此科研複雜網絡結構中，如何有效率地找出個別大小社群間連結特性，目前是國科會科技計畫績效管考平台難以單獨地將這些社群劃分出來的窘境，一個社群中的研究人員可能重疊在另外一至多個社群，這種複雜網絡下的重疊社群結構卻是績效管考上的難題，除了會影響整體研究資源暨經費的分配效益，對於認真執行跨領域研究計畫社群而言，其重疊社群結構（overlapping community structure）下應賦予更高的研究績效權數（實質考評至每個社群內的任一研究人員）及提高特優重疊社群未來能支應其更多經費的上限，是故探勘且分析台灣科技合作研究複雜網絡社群結構特性即為必要之研究課題。

在人類世界裡存在數多的真實複雜網絡，不同複雜網絡具備符合不同程度的網絡特徵與特性，諸多已被收集網絡數據可以透過網絡分析研究者所主張的電腦模擬分析模型而加以探勘出相關網絡重疊結構圖形與自我網絡重疊模體（ego network motif）等量化數值諸多特性，期盼依循複雜學術網絡理論基礎與建立適合台灣科技合作研究複雜網絡之研究模型，以便進行相關應用軟體分析來取得具有相當程度實際統計性質之分析數據，從而實際驗證本研究模型之適切性與台灣科專合作研究整體網絡暨個別自我網絡相關複雜交互影響作用的結構特性。

1.2 研究背景

台灣國科會政府研究公報(government research bulletin, GRB)智慧搜尋系統即以理學、工程、醫學、農業、人文與社會等六大研究領域，其中理學再細分為九個次領域，工程再細分為二十二個次領域，醫學再細分為十一個次領域，農業再細分為十九個次領域，人文再細分為七個次領域，社會再細分為十三個次領域，共細分為八十一個次領域。「生物技術」次領域分別存在在理學、醫學與農業等三研究領域細分類中，「食品科技」次領域分別存在在工程與農業等兩研究領域細分類中，系統中即可將「生物技術」與「食品科技」等次領域社群重疊之複雜網絡現象進行其結構特性分析，其他隱含在不同次領域的科研社群之重疊結構則可利用現有 GRB 搜尋系統中之資料集進行分析。

過去複雜網絡社群結構學者，諸如 Radicchi 等(2004)以 GN 算法為基礎而提出「快速分裂算法」進行 13,000 個美國科學家所組成的科研合作網絡之研究，Newman(2004)即以貪婪算法為基礎而提出「快速凝聚算法」進行 Internet、WWW 與電子郵件網絡作演算法等相關研究，更成功分析 50,000 個結點的科研合作網絡，另有 Palla 等(2005)為分析複雜網絡下的重疊社群結構而提出「派系過濾算法(clique percolation, CP)」，其研究團隊分別進行科學家合作共同研究網絡、語系關聯網絡與蛋白質關係網絡等具有複雜網絡重疊結構特性之多個驗證性研究，Palla 等人亦開發出 CFinder 之應用軟體，可利用輸入複雜網絡社群相關節點、連結邊線與社群等批次檔資料進行演算分析個別大小社群與重疊結構特性，更可將分析結果視覺化呈現輸出。

近年來網絡結構分析科學者們，已探究出大量的真實網絡(real network)既不屬於規則網絡(regular network)，也不屬於隨機網絡(random network)，而是具有與前兩者截然不同的統計特徵之網絡結構，這類型的網絡被科學者們定義為複雜網絡(complex network)，其諸多個統計特徵中最重要三個主要

特徵分別是小世界(small world)效應、無尺度/無標度 (scale free)特性與分形性(fractal)等重要研究概念。

關於複雜網絡 (complex network) 基本特性與定義，此研究背景則可參考 Steven H. Strogatz (2001) 所發表《探究複雜網絡》文中提出六個論點來闡述複雜網絡的基本特性，本研究對其論點與構念體現如下：

1. 結構複雜性 (structural complexity) ；
2. 網絡發展與演進 (network evolution) ；
3. 連結多樣性 (connection diversity) ；
4. 動態複雜性 (dynamical complexity) ；
5. 節點多樣性 (node diversity) ；
6. 變換複雜化 (meta-complication) 。

在真實世界中的朋友關係網絡中，自己所認識的兩個朋友，通常極可能彼此也互相認識，此現象可謂為網絡的群聚特性。網絡分析學者 Tao Zhou、Gang Yan 與 Bing-Hong Wang (2005) 認為在各種無尺度特徵下的複雜網絡，其網絡產生時會伴隨非常大的群聚係數 (clustering coefficient) 與非常小的平均路徑長度 (average distance) 這兩個簡單本規則，與小世界現象中「高群聚度」與「低間隔度」等兩個特性相謀合。Newman (2003) 認為在真實世界裡的複雜網絡似乎仍存有這種所謂的多塊的 (clumpy) 轉移性／及物性／傳遞性 (transitivity) —許多分派系領域稠密地分布在高群聚係數的節點周邊，通常僅被其他派系領域分隔而高度集中在少數模體區域，故「群聚性」與「重疊結構」兩特性相互呼應。

本研究即運用台灣國科會 GRB 搜尋系統之資料集，以派系過濾算法(CP)原理為基礎，運用哈佛大學 Analytic Technologies 機構自 1999 年起開發改版迄今之應用軟體 UCINET 6.186 與 NetDraw 2.076 等版本以進行電腦程序操作與分析台灣科技合作研究社群之複雜網絡結構特性。

1.3 研究目標

本研究即運用台灣國科會 GRB 搜尋系統之資料集，探索與分析台灣科技合作研究社群之複雜網絡結構特性。本研究目標分別列述如下：

1. 就 GRB 搜尋系統歷年來資料集內六大研究領域暨八十一個次研究領域，彙整為實質網絡數據，依據本研究提出「以計畫主持人 (PI) 為網絡結構重疊模體 (motif) 三維模型」為電腦模擬分析模型基礎，進而形成各依年度區別之台灣科技合作研究社群複雜網絡整體結構，探勘出完整科研合作研究社群網絡重疊結構暨個別自我網絡模體，分析相關複雜交互影響作用的結構特性並加以圖形化。
2. 將「生物技術」與「食品科技」等次領域科技專案計畫合作研究人員所組成之社群重疊結構及其複雜網絡現象進行其結構特性分析。
3. 其他隱含在不同次領域科技專案計畫合作研究人員所組成之社群重疊結構及其複雜網絡現象進行其結構特性分析。
4. 檢驗台灣政府科技專案計畫合作研究人員所組成之整體社群結構與個別自我網絡重疊社群結構間是否符合複雜網絡學術理論基礎三個主要特徵—無尺度 (scale free)、小世界 (small world) 與分形性 (fractal) 等網絡特徵並完成其網絡結構特徵分析。
5. 實證台灣政府科技合作研究之整體社群結構與個別自我網絡重疊社群網絡結構分析—圖形分析、小團體分析、中心性分析與自我網絡分析等量化分析。
6. 完成台灣科技合作研究社群之複雜網絡整體結構與個別重疊社群結構之特性分析後提出最佳化研究績效權數考評模式以建議並提供國科會未來設計更新科技計畫績效管考平台使用。

1.4 研究流程與論文架構

本論文撰寫之研究程序與論文架構如下：

第一章『緒論』，提出本研究的研究動機、研究背景、本研究主要的研究目標與論文架構與研究流程等，相關研究流程與論文架構示意圖，如圖 1 所示。

第二章『文獻探討』，於此章節即探討與本論文研究相關之學術領域、知識背景與過去研究文獻回顧，其中包含了複雜網絡理論與結構特性(徵)、圖形理論與社會網絡計量學、網絡結構分析（圖形分析、小團體分析、中心性分析與自我網絡分析等）與其相關演算法（algorithms）、複雜網絡一派系與重疊社群結構分析、複雜網絡結構分析應用與發展、國家創新系統與實質概況分析及GRB智慧搜尋系統資訊應用與科專績效平台等文獻內容及相關研究概念。

第三章『研究方法與實驗設計』其內容為『複雜網絡模型設計與驗證方法』，此章節說明並且明確定義本研究「以計畫主持人（PI）為網絡結構重疊模體三維模型」為電腦模擬分析模型基礎之立論，詳細定義及敘述網路特性分析相關演算公式與參數，解釋分析特徵值相關涵義與合理範圍閾值（threshold values）。

第四章為『實證分析與研究結果』，此章內容針對本研究設計的『重疊模體三維模型』作自我網絡圖形分析、小團體分析、中心性分析與結構分析等實證分析，以驗證複雜網絡三個主要特徵一無尺度、小世界與分形性等相關合作研究社群網絡結構特性分析。探討並驗證分析台灣科技合作研究複雜網絡整體結構，且運用本研究設計模型以探勘出完整科研合作研究社群網絡重疊結構暨個別自我網絡模體，同時分析複雜網絡交互影響作用的結構特性並加以圖形化。

第五章『結論』，彙整本研究模型實際驗證分析後之量化數據與圖形化結構暨模體內容，總結本論文之研究結論，並且提出對未來研究發展所需之建議。

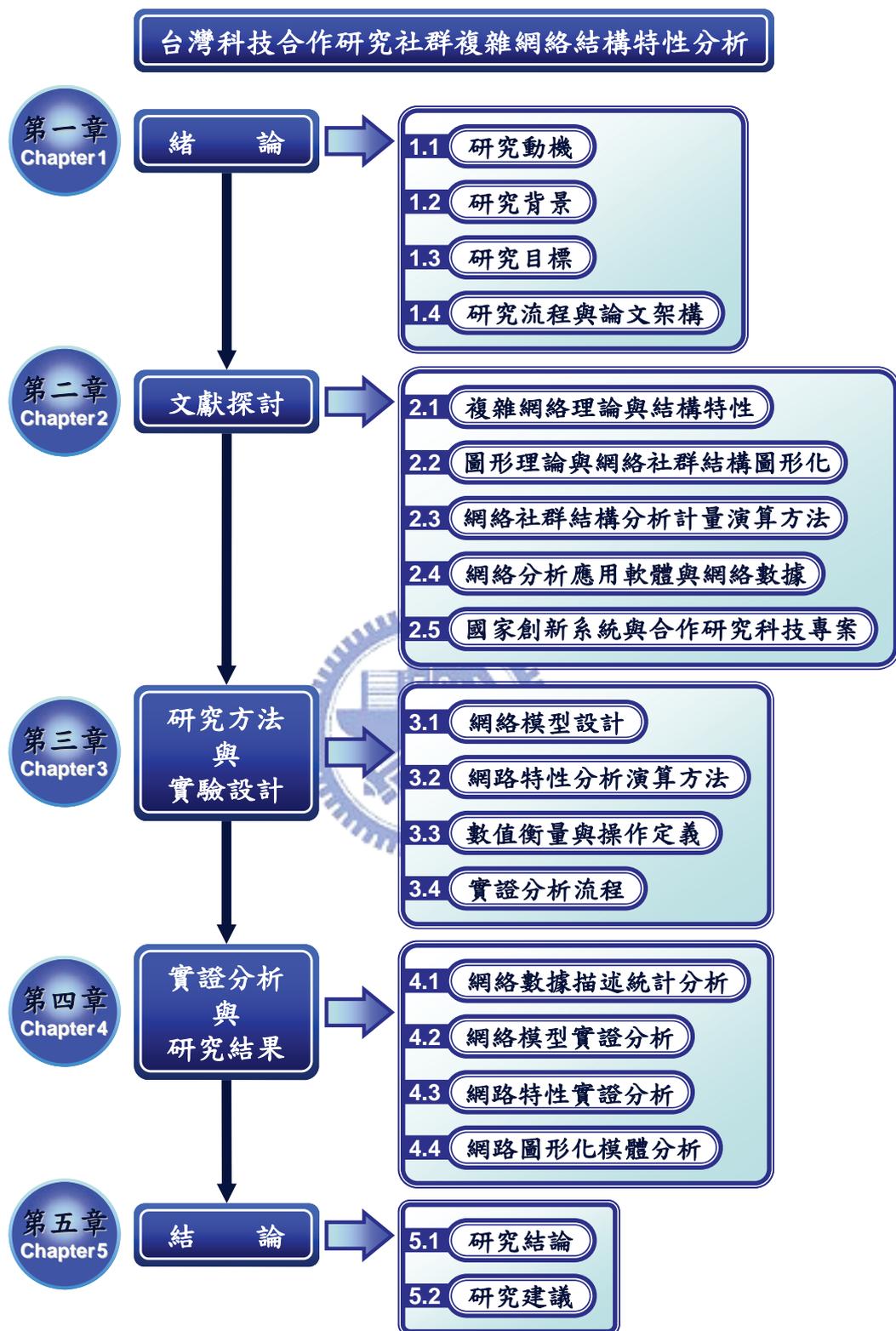


圖 1 本論文研究流程與論文架構示意圖

第二章 文獻探討

近年來有許多研究者在很多不同的複雜系統中都發現了無尺度網絡結構(如下表所列)，皆符合著名複雜網絡學者 Albert-Laszlo 與 Eric(2003)所提出的「無尺度網絡 (scale-free networks)」特性—「集結節點 (hub)」與「遵循冪次定律」(且冪次定律中 k^n 項中的 n 值,通常介於 2~3 間),其中 Newman (2004)即以貪婪算法為基礎而提出「快速凝聚算法」進行 Internet、WWW 與電子郵件網絡作網絡結構演算法等相關研究,更成功分析 50,000 個結點的科研合作網絡—Newman 調查研究幾個學科 (discipline) 領域內諸多科學家(如物理和資訊工程等科研領域)間共同研究 (collaboration) 之合作關係網絡,其探勘並發現這些網絡亦是無尺度網絡,就如同 Albert-Laszlo 與 Eric (2003) 整理出幾個無尺度網絡實例(如表 1 所示),亦針對數學家 and 神經科學家所做的相關研究,例如在數學科研領域中,著名的數學家 Erdos, 即是最大的集結節點,其寫的論文超過 1400 篇,其中與 Erdos 共同合作撰寫論文的作者就超過 500 人。

表 1 無尺度網絡實例

無尺度網絡實例(NETWORKS)	節點(NODES)	連接(LINKS)
細胞代謝 (Cellular metabolism)	燃燒消化食物以產生 能量所牽連之分子群 (Molecules)	參與相同之生化反應 (Participation in the same biochemical reaction)
好萊塢 (Hollywood)	演員們 (Actors)	演出過同一部電影 (Appearance in the same movie)
網際網路 (Internet)	路由器 (Routers)	光纖與其他物理性連接 (Appearance in the physical connections)
蛋白質調控網絡 (Protein regulatory network)	協助調控細胞活動的蛋白質 (Proteins)	蛋白質之間的相互作用 (Interactions among proteins)
共同研究合作關係 (Research collaborations)	科學家 (Scientists)	合作撰寫論文 (Co-authorship of papers)
性關係 (Sexual relationships)	人 (People)	性接觸 (Sexual contact)
全球資訊網 (World Wide Web)	網頁 (Web pages)	電腦全球資源定位器 (URLs)

資料來源：Albert-Laszlo & Eric (2003)；本研究整理。

台灣科技合作研究社群是否符合上述文獻所佐證之複雜網絡結構特性，即為本研究文獻探討之重點。如上表參考文獻所述，以科學家為網絡節點（nodes），且輔以合作撰寫論文為連接關係（links）來構組成科學家間之共同研究合作關係網絡（research collaborations networks），若引用來進行本研究時，將以國科會研究計畫主持人（principal investigator, PI）為社會網絡的基礎節點，且以主持人與研究計畫參與者為其主要連接關係（合作研究），實際運用現行台灣國科會 GRB 搜尋系統資料集，探索分析台灣科技合作研究社群之複雜網絡結構特徵（性），是否符合無尺度網絡特性—「集結節點（hub）」與「遵循冪次定律（power law）」，以及探討是否符合下列文獻所述其他兩個主要特徵，亦即小世界網絡現象特性—「高群聚度」與「低間隔度」及網絡分形性等特性，更進一步分析三大特徵外的其他相關台灣科技合作研究社群網絡結構特性及內涵意義。

2.1 複雜網絡理論與結構特性

近年來網絡結構分析科學者們，已探究出大量的真實網絡（real network）既不屬於規則網絡（regular network），也不屬於隨機網絡（random network），而是具有與前兩者截然不同的統計特徵之網絡結構，這類型的網絡被科學者們定義為複雜網絡（complex network），其諸多個統計特徵中最重要三個主要特徵是小世界（small world）效應、無尺度/無標度（scale free）特性與分形性（fractal）。

複雜網絡基本特性定義亦可參考史蒂芬·史特羅蓋茲（Steven H. Strogatz）於2001年所發表《探究複雜網絡》文中提出六個論點來闡述複雜網絡原本既有而難以理解的特性，本研究對其論點與構念體現如下：

1. 結構複雜性（Structural complexity）—為錯綜複雜且糾結之網絡線路圖；
2. 網絡發展與演進（Network evolution）—網絡線路圖會隨時間而改變，例如

全球資訊網 (World Wide Web) 中，每分鐘都有新建立或已消失的網頁或連結。

3. 連結多樣性 (Connection diversity) — 節點間的連接邊 (線) 可能會有相異的權值 (weights)、方向 (directions) 與符號 (signs)，如神經系統中的突觸有其傳導的強或弱及相互間的抑制或興奮作用關係。
4. 動態複雜性 (Dynamical complexity) — 網絡中節點間可能為非線性動態系統 (nonlinear dynamical systems)，例如在基因網絡 (gene network) 或物理元件晶片陣列 (Josephson junction array) 中，每一節點狀態在各種結構複雜形式中能即時改變。
5. 節點多樣性 (Node diversity) — 網絡中有許多不同種類的節點，既如Kohn於1999年提出在哺乳動物中控制細胞分裂的生物化學網絡由迷離多樣化的基底質與酵素群體所構成之研究論點。
6. 變換複雜化 (Meta-complication) — 各式各樣的複雜化能相互影響，例如現行電力格網 (power grid) 的規劃佈局依靠其歷年來的需求成長；將神經元多次地結合在一起，其連結會基於記憶與學習為基礎而增強；意指節點動力學影響著連結權值及其重要性。

複雜網絡諸多個被學者定義的統計特徵中，最重要的三個主要特徵—無尺度網絡、小世界網絡現象與網絡分形性圖形 (fractality) 等研究觀點分述在下列文獻探討內容中。

2.1.1 無尺度網絡

許多網絡學者 (Strogatz, 2001; Albert & Barabási, 2002; Dorogovtsev & Mendes, 2002) 指出真實世界複雜系統下的無尺度網絡 (scale-free network)，皆會存有「節點連接度呈冪次定律分佈 (power-law degree distributions)」的網絡特徵，如圖 2.1 所示，圖左即表示節點分佈呈鐘形曲線

分佈 (bell-shaped curve distribution of nodes linkages)，圖右則是代表節點連結分佈呈冪次定律分佈 (power law distribution of nodes linkages)。

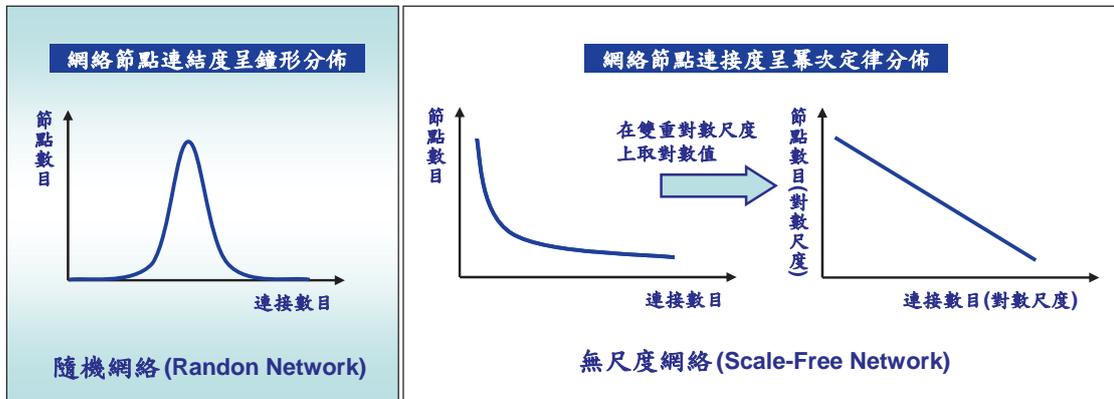


圖 2 隨機網絡與無尺度網絡節點連接度分佈比較圖

資料來源：Albert-Laszlo & Eric (2003)；本研究整理。

Albert-Laszlo 與 Eric(2003)共同提出所謂的「無尺度網絡 (Scale-Free Networks)」特性—「集結節點(Hub)」與「遵循冪次定律」(且冪次定律中 k^n 項中的 n 值，通常介於2~3間)，其研究內容所舉例即類似美國公路系統的隨機網絡 (random networks)，諸多節點以隨機方式被置放連結在全美各地，在這樣隨機公路系統網絡中，其節點連結度分佈圖將會遵守鐘形曲線分佈 (bell-shaped curve)，大多數節點連接數目近似於一定值；對照於無尺度網絡 (scale-free networks) 或稱無標度網絡，類似美國航空系統幾個集結節點—大量連結線(邊)匯集於這些集結節點，在這樣無尺度航空系統網絡中，其節點連結分佈圖則會遵守冪次定律分佈 (power-law)，意指大多數節點僅有少數連接線作連結，只有一些節點會被巨大數量的連接線所匯集。在此研究觀點中，此種複雜系統是沒有「尺度」意義 (即無雙重對數尺度意義)，這類網絡特徵，被定義為其節點連結度分佈圖，其冪次定律分佈曲線在雙重對數尺度 (double-logarithmic scale) 上取對數值後，被繪製出的結果為一條呈現負斜率的直線 (如上圖 2 所示)。

本研究延續上述研究演譯並例舉出台灣公路系統之隨機網絡示意圖 (如圖 3

所示) 與兩岸航空系統之無尺度網絡示意圖 (如圖 4 所示), 圖 3 中紅色節點代表主要節點 (主要城市), 藍色節點代表一般節點 (一般城市), 圖 4 中紅色節點代表集結節點 (樞紐轉運航空站), 藍色節點代表一般節點 (一般航空站)。

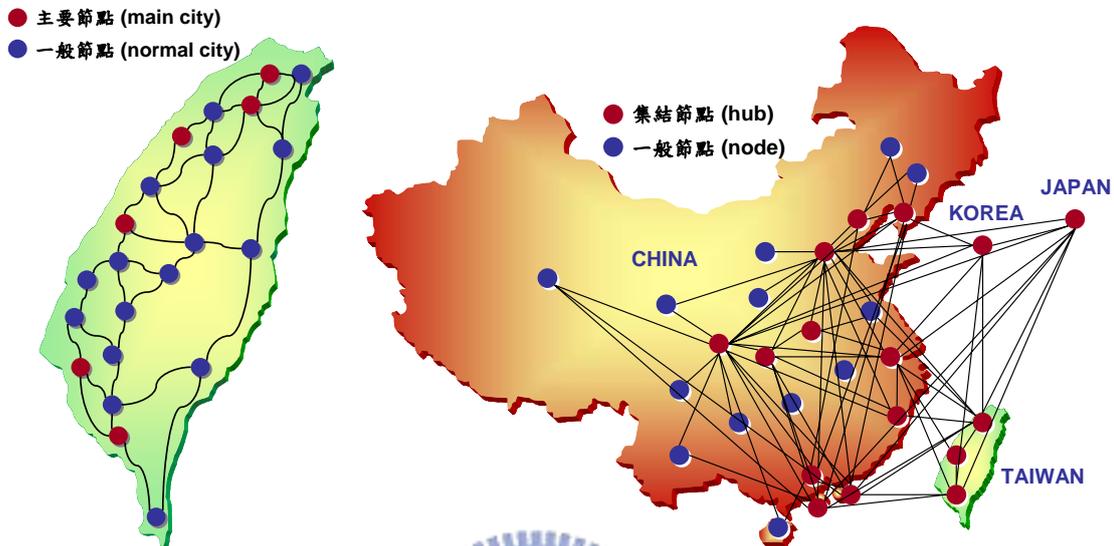


圖 3 台灣公路系統圖
(隨機網絡示意圖)

圖 4 兩岸航空系統圖
(無尺度網絡示意圖)



2.1.2 小世界網絡現象

過去研究網絡結構特性分析時, 對於單一節點與其他節點間相互連結關係, 藉由設立網絡模型來探討其網絡中節點間連結的交相作用與互動影響, 過往學者所建立的模型中大都採用規則網絡模型 (Regular Network Model) 與隨機網絡模型 (Random Network Model) 二種研究概念來建立簡單的社會網絡關係。網絡學者開始反思介於上述兩模型間, 是否存有其他社會網絡模型暨特徵現象..., 而答案確實是肯定的。

隨後Watts與Strogatz(1998)研究提出並建立小世界網絡模型 (small world Network Model) 來解釋另一個存在於複雜系統網絡的主要特徵—小世界網絡現象 (small world network phenomenon), 即具有「高群聚度 (high clustering

coefficient)」與「低分隔度 (low separation coefficient)」的網絡拓撲特性。相關研究學者發現在真實世界裡，複雜系統大量的真實網絡 (physical network) 既不是規則網絡 (regular network)，也不是隨機網絡 (random network)，而是介於規則網絡與隨機網絡兩者之間特殊的網絡現象，相較於前兩者而具有迥異的計量統計特徵的實質網絡，此類型網絡經由科學者定義稱為「複雜網絡」其計量統計特徵中最重要的是「小世界」與「無尺度」等兩大特徵。

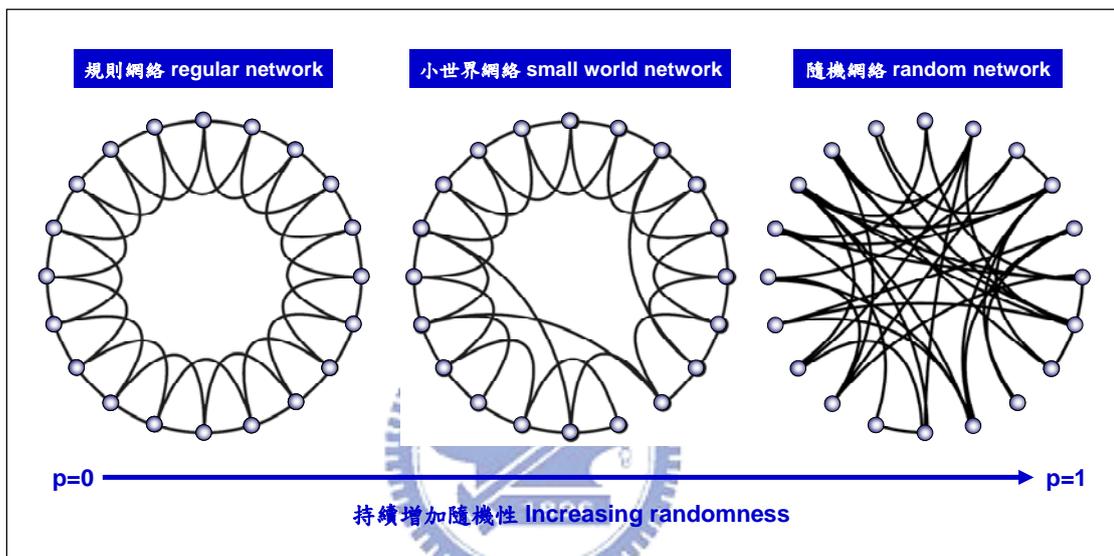


圖 5 介於規則網絡與隨機網絡之間的小世界網絡模型
資料來源：Watts & Strogatz (1998)；本研究整理。

在規則環狀網絡與隨機網絡之間插入一個隨機性重新裝配程序，在不改變其圖形中節點 (vertices) 或連接邊 (edges) 的數目，即共有 20 個節點與 40 個連接邊來組成網絡圖形，其後持續增加隨機性 (增加概率 p 值)，對於規則網絡的每一個節點的所有邊，以概率 p 移開任何兩節點之間的連接邊，並重新連結，此一被移開的連接邊所重新連結的節點，是由此網絡中的其他節點作隨機選擇。

如上圖 5 所示，Watts 與 Strogatz 將一個規則網絡的模型，附加上一個持續增加的隨機性的捷徑，提出了小世界網絡模型，具有高群聚度和低間隔度 (平均距離較短) 等特性的網絡，即稱為小世界網絡。當 $p=0$ 時，規則環狀網絡並

無任何改變，此時網絡就發展成為規則網絡；在小世界網絡模型中，即 $0 < p < 1$ 時，則存在一個以概率 p 取值的大範圍區間，趨使其形成的小世界網絡，將同時具有較大的群聚係數和較小的平均距離；當 $p=1$ 時，則發展成為隨機網絡。

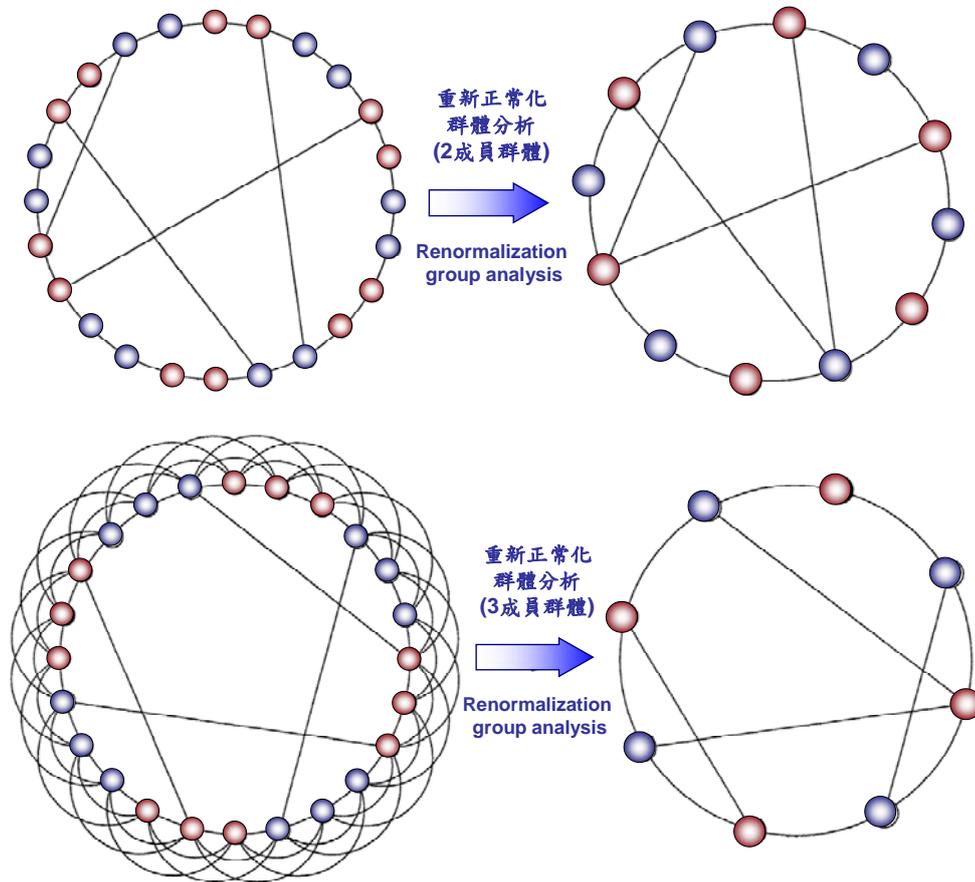


圖 6 重新正常化群體分析的NW小世界網絡模型示意圖
資料來源：Newman & Watts (1999)；本研究整理。

小世界網絡模型除了 Watts 與 Strogatz 所提出的「WS小世界網絡模型」的(圖 5)，另一個模型及是由 Newman 與 Watts 對小世界網絡進行重新正常化群體分析／亦稱重整化群體分析 (Renormalization group analysis) 研究後所提出的隨機性增加連結邊的「NW小世界網絡模型」(圖 6)，其與WS小世界網絡模型最大的差異為模型設計始終保持環狀網絡結構圖形，其實兩模型在本質上是相等同，但是NW小世界網絡模型可以將相同成員數所組成的群體分析予以重新正常化，而將模型簡化。如圖 6 則分別將「2 成員群體」及「3 成員群體」簡化後，可將重新正常化 (標準化) 群體分析的NW小世界網絡模型予以圖示。

2.1.3 網絡分形性

複雜網絡研究學者的持續深入研究發現，Song等人(2005)發現許多真實網絡結構中隱含著網絡分形性圖形(fractality)－存在著不規則圖形結構的內在機制，因此提出自我相似分形(fractal Self-similarity)的研究概念，而將網絡分形性(fractal)特徵，認定為現今複雜系統網絡相關研究的主要特徵。此一分形性特徵已成為繼「無尺度網絡」及「小世界網絡現象」等兩大複雜網絡特徵被研究發現後，所出現的第三個主要的複雜網絡特徵。

分形性特徵的基本特性是網路的部分和整體具有統計上的相似性，網絡分形性特徵最顯著的是等級網絡(hierarchical network)，然而真實世界裡，絕大多數實際網絡以及網絡結構模型，皆不具有如等級網絡般，能夠直接觀察出網絡結構中自我相似分形特徵(Chaoming Song, Shlomo Havlin & Hernán A. Makse)。

相較於 Mandelbrot (1983) 在物理學領域上，探究發現所屬的分形幾何學(fractal geometry)的新穎的分形拓撲學(fractal topology)等相關特徵，在複雜網絡結構特性分析相關研究領域亦被研究學者觀察到。誘發產生複雜網絡分形性特徵的關鍵因素，是各個集結節點(hub)在所有對數尺度上的強度不相配性，導致集結節點之間相當分散(離)。真實世界裡，網絡拓撲分形性特徵的實際例證，即包含全球資訊網的超連結與蛋白質體網絡的生物化學回饋反應等。

Song等人(2006)認為複雜網絡可以分屬於生物學、理科學或社會學等不同領域而有相似的組織原理，皆具有獨特成長機制的可能性，且有揭開集體共同行為(collective behavior)普遍性各種起因，特別是諸多複雜網絡中自我相似性(self-similarity)的顯現。依據複雜網絡結構逐步發展，研究複雜網絡成長過程的基礎原理問題的學者亦逐年俱增，相對於所謂分形性(fractal)與非分形性(non-fractal)等模組式網絡的成長機制亦如同重整化(renormalization)的研究概念。

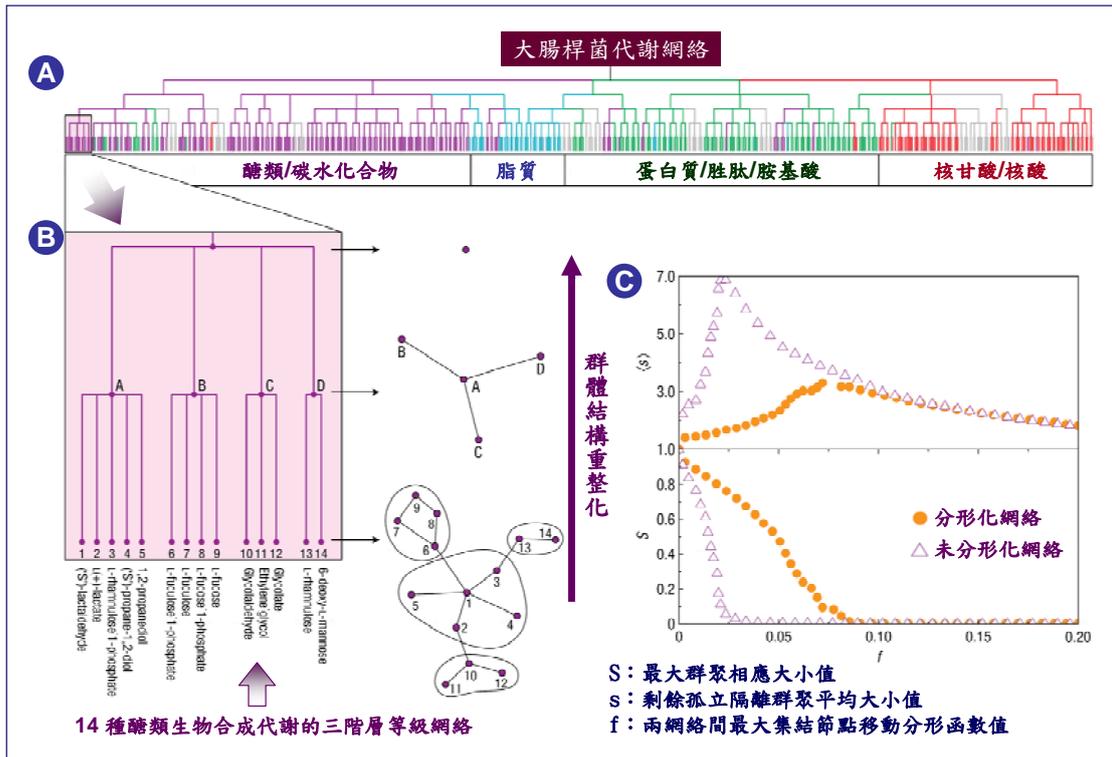


圖 7 重整化成長方法運用於大腸桿菌代謝網絡分形性實際關聯示意圖

資料來源：Song 等人 (2006)；本研究整理。

Song 等人(2006)認為引起各種網絡分形性結構的重要原理是在網絡內這些最大連接量的集結節點之間具有強而有效的排斥作用 (repulsion) 或異配性 (disassortativity)，即表現出相互間全部路徑尺度上是相當離散的。更重要的是健全的網絡結構須包含機能性單元組件，譬如細胞內網絡即需做分形拓撲學分析以研究其實質進化過程裡所引起諸多聯想的相關生化活動。

Song 等人(2006)運用重整化成長方法來研究大腸桿菌 (*Escherichia coli*, *E. coli*) 胞內代謝產物活動的網絡分形性實際關聯 (如圖 7 所示)，圖 7A 為大腸桿菌代謝網絡所誘導功能模組 (functional modules) 的重整化樹狀層級圖，在樹狀圖中這些有顏色的節點與分支即表示主要生物化學的等級制度如醣類／碳水化合物、脂質類、蛋白質類、肽類、胺基酸類、核苷酸與核酸類以及輔酵素與輔基生物合成 (coenzymes and prosthetic groups biosynthesis)；圖 7B 則顯示出 14 種醣類生物合成代謝的三階層等級網絡，其向上的紫色箭頭線則表示重整化程度；圖 7C 中 S 代表最大群聚相應大小，s 代表剩餘孤立隔離群聚平

均大小， f 代表在分形化及非分形化兩網絡間最大集結節點移動分形函數值。

2.1.4 共事網絡

傳統的社會網絡理論所主張的用以分析的網絡模型，其網絡結構中的節點 (nodes) 都是具有身分專一性 (specific identity)，亦如 Albert-Laszlo 與 Eric (2003) 整理出幾個無尺度網絡實例(如表 1 所示)，即是以「細胞間作用之化學分子」、「演員」、「科學家」及「網頁」等單一節點身分來進行網絡結構分析與探討其特性，身分專一性成為早期許多學者分析網絡結構特性的準則。

Stanley Wasserman 與 Katherine Faust (1994) 在其著作《Social Network Analysis: Methods and Applications》中，即探討「小孩 (children) 與參與不同團體 (parties)」及「執行長 (CEOs) 與參與不同俱樂部 (clubs)」等相關研究案例組成的共事網絡 (affiliation networks)，並繪製出二分關聯網絡圖形 (bipartite graphs)。

Stanley Wasserman 與 Katherine Faust (1994) 明確定義「共事網絡」間存有三種關係，即存在於 (1) 參與者 (actor) 與事件 (event) 之間的關係、(2) 參與者與參與者之間的關係以及 (3) 事件與事件之間的關係；相關學者對於「共事網絡」的基本定義整理如下所述：

1. 係由一組參與者及一組事件所組成的「雙模網絡」(two-mode network)；
2. 係由一群組一群組的參與者所組成，一般網絡則由一對對的參與者組成；
3. 共事網絡參與者之間的連結可決定於參與者與事件之間的連結；
4. 共事網絡可以讓學者同時分析參與者與事件間的雙重性 (duality)。

Newman、Watts 與 Strogatz (2002) 發表社會網絡隨機圖形模型研究時，更例舉共事網絡理論基礎下所衍生的二分關聯網絡圖形，本研究重新整理及增加其

複雜程度，如圖 8 所示，其中藍底白字圓標符號 1~5 代表不同董事會，白底藍字圓標符號 A~L 代表不同公司董事，圖上層部分代表 12 位公司董事（參與者）分別具有多重董事身份而分別隸屬於不同公司董事會（事件／組織），兩種異質節點藉由黑線相互連接其網絡關係，圖下層部分則是將兩董事任職於同一董事會之網絡關係推測轉換成一個邊（edge），上下圖層組合形成董事成員與董事會之共事網絡結構暨二分關聯網絡圖形。

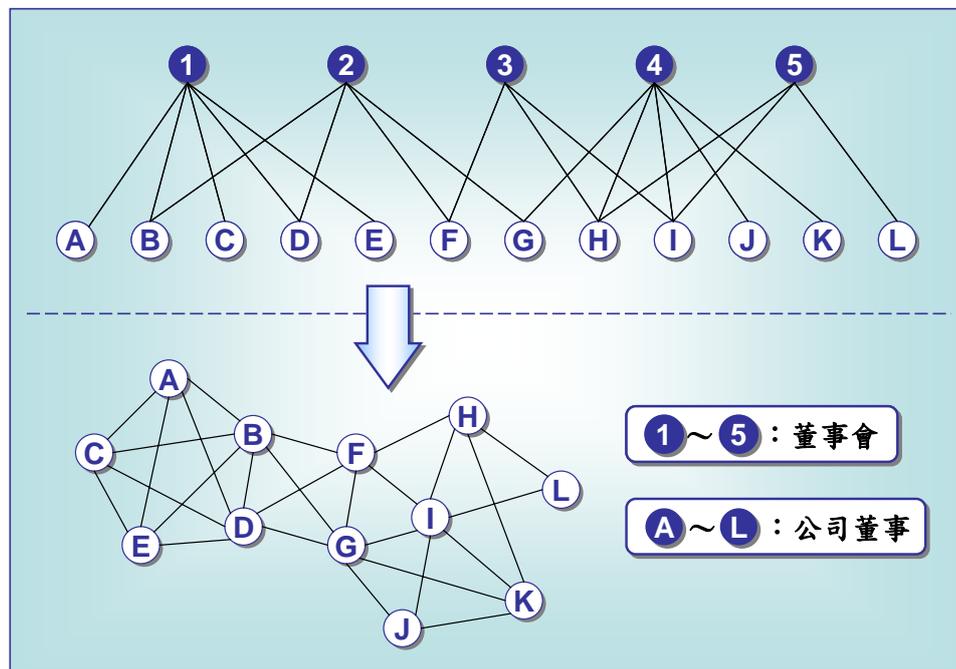


圖 8 共事網絡結構暨二分關聯網絡圖形

資料來源：Newman、Watts 與 Strogatz (2002)，本研究整理。

社會網絡研究領域中所謂的「共事網絡」與「二分關聯網絡圖形」等理論觀點，對於本研究提出「以計畫主持人 (PI) 為重疊社群結構之自我中心節點網絡結構重疊模體三維模型」所衍生出節點身分已非具專一性之研究概念，藉以提供合理且具體的理論基礎。

2.1.5 複雜網絡結構特性

1. 中心性 (Centrality)

中心性在社會網絡分析領域裡可謂是被研究最多的概念，許多相關分析計量方法已發展完備，Newman (2005) 認為中心性分析主要有程度中心性 (degree centrality)、接近中心性 (closeness centrality)、中介中心性 (betweenness centrality) 與特徵值中心性 (eigenvector centrality) 等相關計量方法。關於中心性研究概念起源於 Freeman (1977, 1979, 1991) 歷年來對複雜網絡所作中心性分析與其計量方法之研究，Freeman(1977)即以程度中心性 (degree centrality) 與圖形中心性 (graph centrality) 等論點首次和圖形理論 (graph theory) 作連結，如目前複雜網絡分析應用軟體 UCINET 6.186 即可透過中心性分析可計算出每一節點的介數與標準化後的中介性特徵值，並且確立全網絡中介中心化 (the overall network betweenness centralization) 程度。

Jacobsen (2000) 指出複雜網絡學者全神貫注在研究網絡分析演算法之相關領域譬如…複雜網絡內個別節點中心性—即網絡附屬物 (network dependency) 與個別路由 (徑) 載入位置；網絡整體路徑分佈—好的通連性 (connectivity) 且無過度的路由平台 (excessive routing tables)；促進網絡群體內部間的交流流量 (communication flow) —需設計更好的拓撲圖形；分析資訊流行為—如何利用電腦網絡來模擬、支持人類世界的真實網絡特性。上述研究領域的概念延伸可幫助了解網絡結構特性與其參與者 (節點) 之間的相互關係，譬如利用節點中心性分析程序即可估算出網絡參與者的位置所在。

2. 塊模型 (Block Modeling) : CONCOR

社會網絡分析相關研究學者常用的重覆關聯聚合演算法 (the CONvergence of iterated CORrelations : CONCOR ; 亦稱迭代相關收斂演算法) 可被用來演算、揭示出複雜網絡內結構對等性的位置，其演算功能是很顯著的。在此演算法中可以演算出複雜網絡中最高具有多少塊模數，以及將網絡全數塊模間做迴歸分析以判定係數 R^2 (R-squared) 實際數值。

Breiger 等人 (1975) 認為「CONCOR」演算法是一種以相關係數為基礎的矩形陣列群聚分類方法，研究處理網絡數據資料時，運算上即可以採用 CONCOR 重覆關聯聚合演算法程序，藉由矩形陣列網絡數據資料其相關性的不斷交迭換算，利用分隔陣列方法來區分出不同群聚類別的塊模型 (Block Modeling)。

3. 群聚係數 (Clustering Coefficient)

Tao Zhou、Gang Yan與Bing-Hong Wang (2005) 認為在各種無尺度特徵下的複雜網絡，其網絡產生時會伴隨非常大的群聚係數 (Clustering Coefficient) 與非常小的平均路徑長度 (average distance) 這兩個簡單基本規則。

在真實世界中的朋友關係網絡中，自己所認識的兩個朋友，通常極可能彼此也互相認識，此現象可謂為網絡的群聚特性。Newman (2003) 認為在真實世界裡的複雜網絡似乎鮮少有這種所謂的多塊的 (clumpy) 轉移性／及物性／傳遞性 (transitivity) — 許多分派系領域稠密地分布在高群聚係數的節點周邊，通常僅被其他派系領域分隔而高度集中在少數模體，如三角形 (triangle) 的區域。

然而，對於大型複雜網絡而言，可意味其群聚係數將會超過 1 (群聚係數： C ，通常定義其範圍為 $0 \leq C \leq 1$)，實際情形代表著…在相互鄰近兩個節點間所存在的同一個邊上，有超過一個邊以上的重疊權值，這樣的概念亦可呼應下述所討

論的「多重度」。Newman (2003) 所作各種類型複雜網絡相關研究所屬基本統計數據 (如下表 2 所示)，表中群聚係數 (C) 實際測得的數據即落在 $0.001 \leq C \leq 0.88$ 範圍之間，即符合上述對群聚係數所作定義，即其合理範圍為 $0 \leq C \leq 1$ 。

4. 多重度 (Multiplicity)

對於真實的複雜網絡結構而言，節點與節點之間的連結隨著網絡日趨發展以至愈形複雜，產生結構間連結的多重度 (Multiplicity) — 與物理學中的「多重性」、數學中的「重數」及生物學中的「多樣性」可謂同義。John Scott (2000) 所著《社會網絡分析》提及多重度的定義為——一種最簡易也被廣為使用在測量網絡節點間連接的飽和強度 (intensity) 之計量方法。

如圖 9 所示，連接線上之權值為 1 以上之數字即為多重度數值，圖中 陳教授與 黃教授間相互間共同執行應用研究科專計畫的多重度數值為 2，其中亦顯示歷年來 陳教授歷年來參與 10 件科專計畫中，有 8 件身任計劃主持人，所專注的研究領域分別有 5 次是物理及 3 次是光電工程，陳教授參與 黃教授所主持的光電工程領域科專計畫則有 2 次，圖中具方向性連接線上所顯示為 1 以上的權值都是所謂的多重度數值。

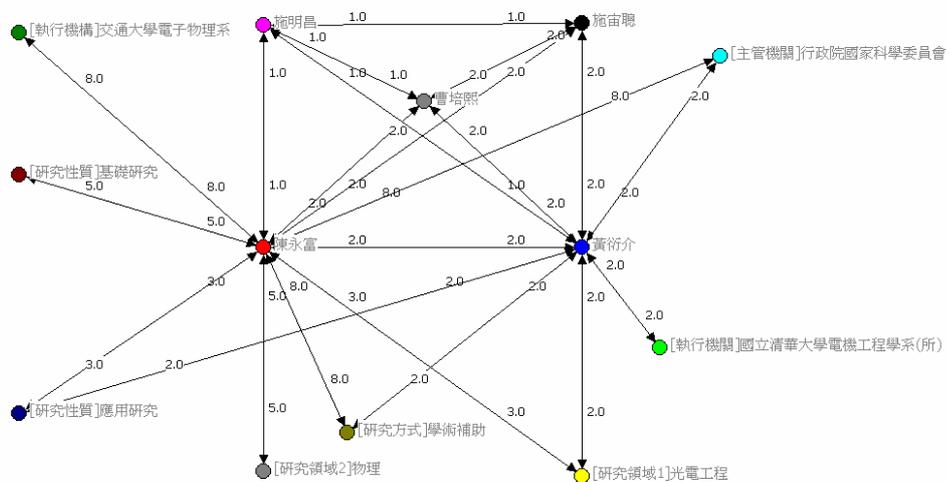


圖 9 具有多重度數值之科研計畫合作自我網絡(Ego network)實例圖

5. 重疊社群結構 (Overlapping Community Structure)

Palla等人 (2005) 認為許多在自然界與人類社會裡的複雜系統，能夠充分描述這些真實網絡在一定期限其所屬形成錯綜複雜網狀連結網絡，其研究問題核心是該如何解釋如同在這般網絡群體間，其整體組織所擁有共存著更多且高度地被交互連結的這些重疊部份，與其所組成在結構上之群體次單位 (subunit)。

因此Palla等人 (2005) 即提出了重疊社群結構的研究構念，且為了鑑別這些必須先驗而未知的結構模塊／積體構件 (building blocks) —如同功能上具相關性的蛋白質體、工業部門事業群與人類群體等—這些重要構件可用以了解網絡結構與其功能特性。有鑑於大多數真實網絡是由各節點間具有高度重疊內聚性 (力) 的團體群 (overlapping cohesive groups) 所組成，對於大型複雜網絡而言，欲找到這些被分隔的社群，則必須使用現存決定論方法。

為揭開這些複雜系統的模塊結構必須設立了一個方法步驟來解析重疊社群所交織混雜出來的主要統計特性，對於這些社群的統計資料，在定義其特徵量數值後，可運用有效率的網絡分析應用軟體技術 (如UCINET) 來對這些重疊社群進行大規模地網絡圖形探勘及其特性分析。

Palla等人發現這些重疊部分 (overlap) 是具有其研究意義的，其結構重疊部位分佈情形亦可揭露出一些普遍通用的網絡特性，如其所從事過相關於科學家合作共同研究網絡 (collaboration)、語系關聯網絡 (word-association) 與蛋白質關係 (protein interaction) 網絡等圖形結構研究，皆顯示社群網狀組織都有非普通相互關聯 (non-trivial correlations) 與特殊魚鱗狀排列特性 (specific scaling properties)，如圖 10 所示。

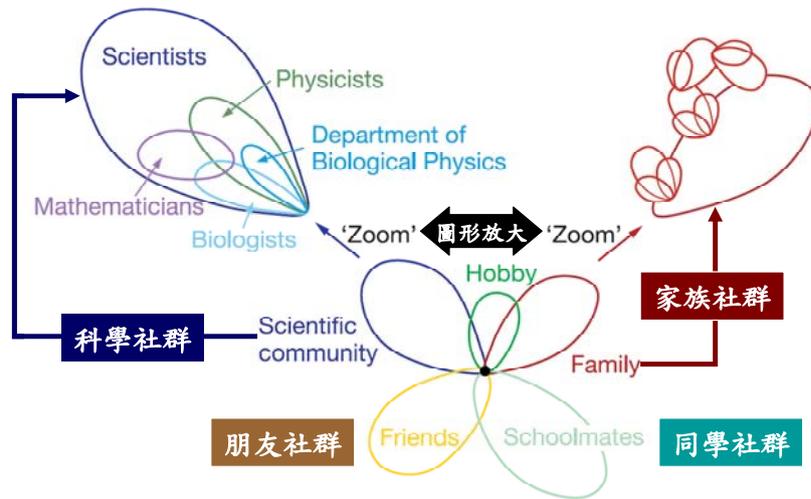


圖 10 重疊社群結構概念圖

資料來源：Palla，2005；本研究整理。

如圖中間位置所在的黑點即代表此篇研究論文作者群裡的任一位，都各自有其數個環繞自身的不同社群，放大學術界科學社群圖形可顯示這些社群的子圖形（subgroup）被套疊成群的重疊社群結構，並且描繪出圖例中源自於某些成員所組成社群，其串連成眾多社群網絡間共同交織混雜的網絡結構。上述這樣特殊魚鱗狀排列特性的重疊網絡結構，確實是存在於各式複雜系統真實網絡中。

如同Chung-Yuan Huang(2005)所提出的社會分身點概念(the social mirror identity concept)及多重代理人系統(如圖 11 所示)，所提出的雙層二維模型，即是「社會分身點+細胞自動機之模擬分析模型(cellular Automata with mirror identities model: CAMIM)」，如圖 12 所示，其模型上層屬於多重代理人系統(multi-agent system)，此電腦模擬系統常被用來模擬真實世界異質性同類者社群(real-world heterogeneous cohorts)，即是指一個具有多重身份的個體(人)會存在於真實世界中眾多不同的人際網絡中；模型下層組成則為一個二維細胞自動產生器(例如：二維環面週期性晶格；two-dimensional toric periodic lattices)，用以解釋真實世界中的各種活動空間。這樣的社會分身點概念連結了上下兩個層面，可用來對流行性疾病傳染(播)動態分析與其他社會網絡相關研究議題，提供一個小世界網絡特徵下之電腦模擬分析模型。

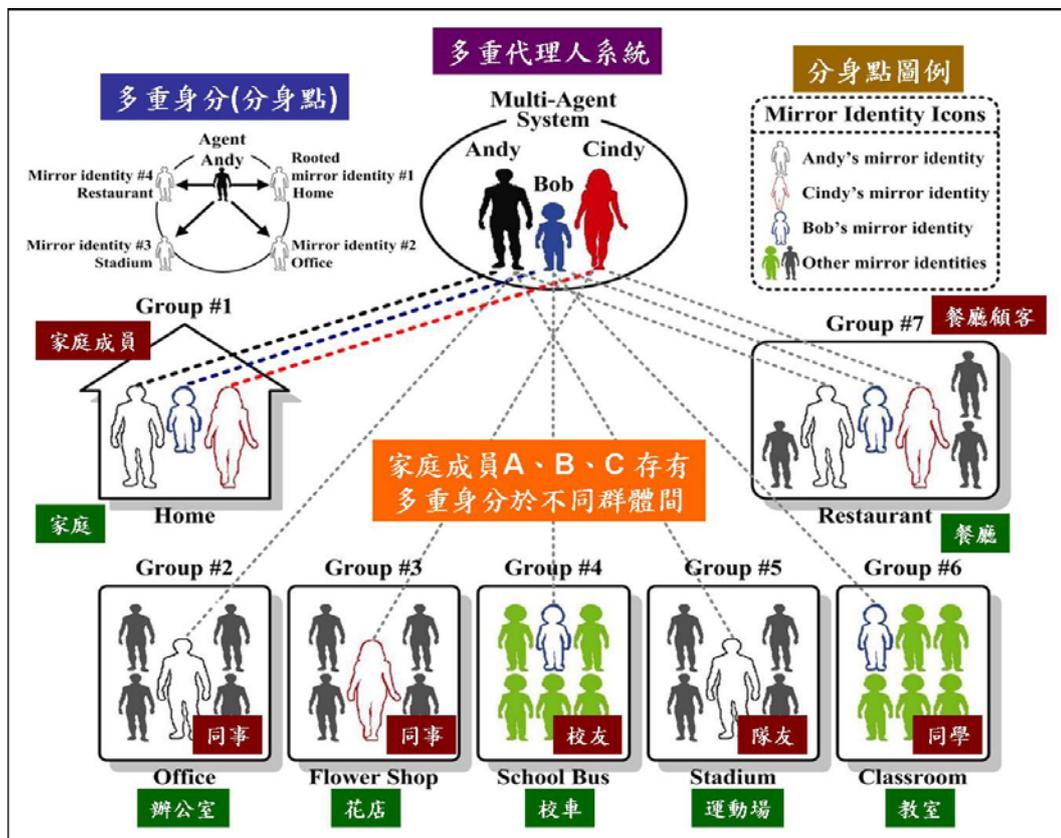


圖 11 多重代理人系統暨社會分身點網絡概念圖

資料來源：Chung-Yuan Huang，2005；本研究整理。

上述所謂的雙層二維模型其實可就圖 12 所示來說明多重分身點的概念，在本研究所提出以計畫主持人 (PI) 為多重代理人暨分身節點，其同時可以出現在不同的科技合作研究計畫裡，擔任不同科專計畫之主持人或共同合作研究之參與研究員。如此，雙層二維模型可以置換為上層乃科研人員之社會分身點網絡，進而下層則可改為其科研人際間從事研究活動時所發生相關機構位置，如主管機關及執行機構之對應窗口負責人，甚或為該科專計畫所相對應之研究性質與研究領域(可視作網絡所發生之事件或以審議該科專研究所屬性質與領域之審議委員)。

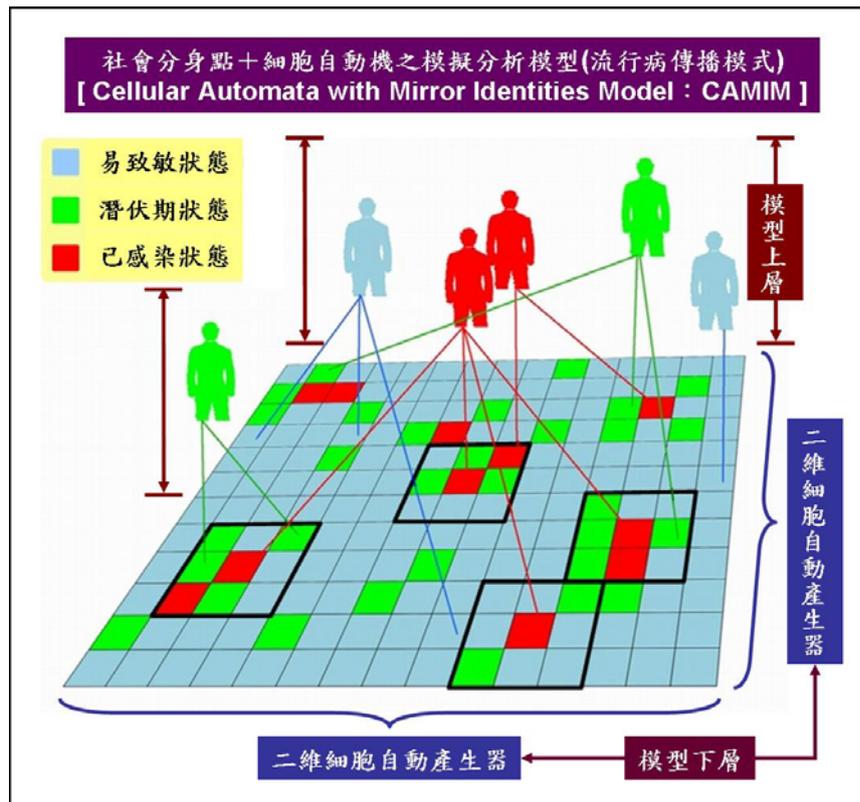


圖 12 社會分身點暨細胞自動機之模擬分析模型圖

資料來源：Chung-Yuan Huang, 2005；本研究整理。

參考 Palla (2005) 所主張的「重疊社群結構」與 Chung-Yuan Huang (2005) 所主張的「多重代理人系統暨社會分身點網絡」等研究概念，本研究即可以上述兩個主要觀點而提出「以計畫主持人 (PI) 為重疊社群結構之自我中心節點網絡結構重疊模體 (motif) 三維模型」為本研究基礎觀點進而探討以計畫主持人為中心性節點所形成的自我網絡 (Ego network) 及其在整體複雜網絡結構中，與其他計畫主持人個別自我網絡交互連結，或為自己身兼多個不同計畫主持人而連結對應在相同或相異之研究性質與研究領域，以及隸屬於相同或相異之主管機關與執行機構，從而組合所有以年度區別合作研究科專計畫所衍生出各個計畫主持人的自我中心節點網絡結構重疊模體三維模型 (如圖 13)，彙總形成整體複雜網絡系統以探討分析整體重疊社群 (global overlapping community) 結構特性。

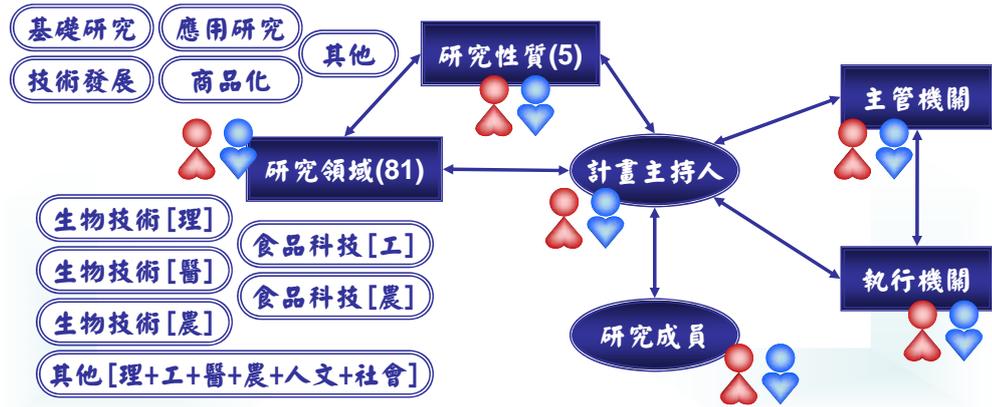


圖 13 以計畫主持人為重疊社群結構之自我網絡結構重疊模體三維模型圖

將上述以計畫主持人 (PI) 為重疊社群結構之自我中心節點網絡結構重疊模體三維模型之研究概念，透過應用軟體 UCINET 6.186 與 NetDraw 2.076 的操作即可將實際網絡數據 (network data) 形成結構重疊模體子圖形 (如圖 14 所示)。

如圖 14 所示，圖左即代表計畫主持人個人主導計劃，無其他參與計畫之科研人員，僅有王姓計畫主持人一員 (如圖左中紅色節點)，所進行科專計畫之研究性質為「應用研究」，所進行的研究次領域為「食品科技」，該計畫主管機關為「行政院農業委員會」，執行機構為「農委會苗栗區農業改良場蠶蜂課」，模體則呈現近似「領結型」。下右圖如同左圖一樣皆為單個自我網絡所組成之簡單結構重疊模體子圖形，然其計畫中多了兩位參與研究成員而形成不同的模體圖形。

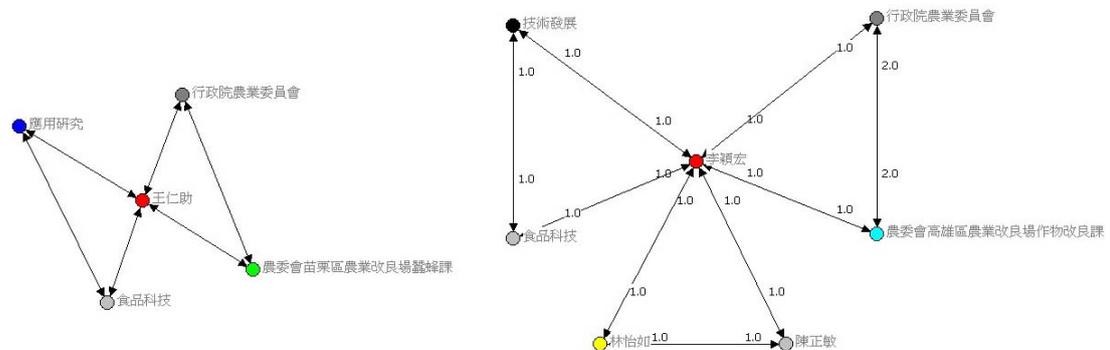


圖 14 簡單結構重疊模體子圖形 (單個自我網絡組成)

上述左右兩圖都是以計畫主持人為結構重疊模體的中心節點重疊的軸心，兩圖除了參與合作研究社群人數多寡的差異外，亦有其他差異處，如左圖中只顯示出方向性圖形而未標示權值，而右圖中有顯示出方向性圖形外，另在其節點間具方向性連接線(邊)上則顯示其權值為2，即代表有另一科專計畫與其連接線(邊)重疊而具有相同的主管機關及執行機構，且由另一位計畫主持人在進行其他研究性質及研究領域的科專計畫。再運用 NetDraw 2.076 應用軟體予以進一步點選重疊連接線兩側節點則可探勘出另一科專計畫自我網絡結構重疊模體子圖形。

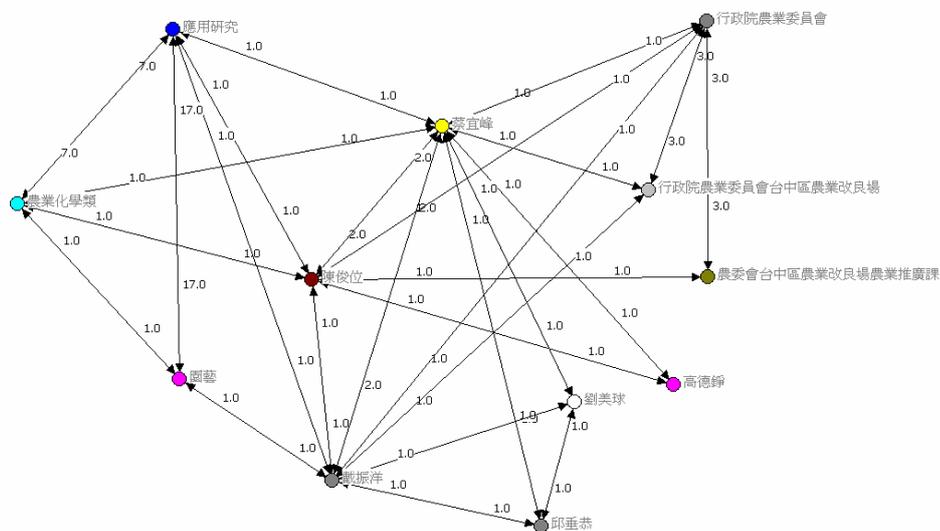


圖 15 簡單結構重疊模體子圖形 (三個自我網絡組成)

如圖 14 所示，即由單個自我網絡所組成的簡單結構重疊模體子圖形，其中以紅點李姓計畫主持人為自我網絡中心節點而架構出其網絡結構重疊模體，且符合本研究所提出的三維模型（如圖13）。如圖 15 所示，即由三個自我網絡所組成的簡單結構重疊模體子圖形，其中以黃點蔡姓、褐點陳姓與灰點戴性等三個計畫主持人（即有三個科專計畫在合作研究）為自我網絡中心節點而架構出其網絡結構重疊模體，其中三個計畫主持人以外的另三位研究員為其他參與者，三位計畫主持人在對方的科專計畫中又擔任研究參與者。如圖中任意兩節點間之連接線（邊）上所標記之加權數值（weight）>1 者，即代表該邊線與其他自我網絡子圖形有重疊值，亦即具有網絡結構重疊現象。再點選加權數值>1 之連結線兩端

節點，在 NetDraw 2.076 三維圖形化應用軟體輔助下，即可利用原已建立之完整網絡數據資料以探勘出其他與該邊線發生重疊現象相關聯的子圖形。

6. 派系 (Cliques)

Mokken(1979)表示社交圈 (social circle) 與緊密團結群體 (closely knit groups) 等這類社會網絡研究議題，是藉由圖形理論與相關網絡理論得以繼續被學者研究與持續地發展，而派系 (clique) 這個重要的概念也符合所謂社會身分地位雷同的相當團體 (peer group) 之定義，派系意謂一群體全數成員彼此相互有聯繫，如同朋友同儕之間相互熟識與交往。亦可以「熟人團體 (acquaintance groups)」這個相似概念來解釋真實世界裡的派系群體，亦如社會網絡中顯而易見的同質性社交團體 (homogeneous social groups)。然而，派系中的成員可亦是相互熟識 (mutual acquaintances) 或是透過通同第三者來聯繫 (common third contacts) 等連結方式，結構成一個小團體 (subgroup)。

過去網絡研究學者認為每一對兩兩相應的節點間皆被一連接邊所連結即可稱為「完全圖形 (complete graph)」，派系則是在一個完全圖形中的子圖形 (subgraph) (或稱為小圖形)，Augustson 與 Minker (1970) 指出在進行圖形理論群集技術分析研究時，必須明確定義「派系」就是最大完全子圖形 (maximal complete subgraph)，然而 Grotschel & Wakabayashi (1990) 所定義的派系不必然是一個最大完全子圖形 (maximal complete subgraph)，並且建議網絡結構分析學者若想在完全圖形中探勘並研究其內含諸多的子圖形，則需利用標記符號方式來區別出這些子圖形。

Palla等 (2005) 則認為社群網絡圖形即是完整全連結網絡圖形，亦屬名為派系 (clique)，此觀點與 Grotschel 與 Wakabayashi (1990) 所提出的論點相吻合，不過 Grotschel 等更為強調最大完全子圖形不是形成派系的必要條件，簡言之，一個派系就是一個自我中心節點的子集 (sub-set)，又如 Everett 與

Borgatti (1999) 即以子集的概念針對存在於網絡內具有內聚力小團體進行派系演算法的相關研究。

Koch (2001)，重新強調「派系就是最大完全子圖形」的概念而演譯出「最大共同子圖形 (maximal common subgraphs: MCSs)」的新派系概念，最大共同子圖形等同是一些不能被延伸的子圖形結構，譬如一個最大的子圖形不可以是另一個最大的子圖形當中的實際的子圖形 (real subgraph)。此觀點突顯出最大的子圖形是具有專一性，即網絡分形性圖形不可完全重複的特性，而 MCSs 的新派系概念則意指個別最大的子圖形彼此之間可存在著最大共同子圖形這樣的重疊圖形結構，等同於派系與派系之間亦可存在著共同的派系成員，也就是等同於前述已探討過的「重疊社群結構」概念。

Wouter 與 Leydesdorff (1994) 提出了「強派系」與「弱派系」的觀點，所謂強派系 (Strong cliques) 就是一群藉由關係連結而夥同的參與者，全數成員皆彼此相互連結，且派系內任何一位成員皆得掌握此派系內成員，反之弱派系 (weak cliques) 依上述定義尺度而言，掌握派系成員能力的就顯得弱許多。由此可見，「強結構等效群集 (Strong structural equivalence clusters)」在網絡內任一參與者皆身處完全同一角色位置，然而「弱結構等效群集 (Strong structural equivalence clusters)」則會在網絡參與者連結關係模式內，其角色位置會存有顯著的相似性而非完全相等同的替代性。

7. 複雜網絡的實際統計性質

Newman (2003) 發表《複雜網絡之結構與功能》文中所列示相關實際網絡研究裡，即表列出各種類型複雜網絡所屬基本統計數據 (如下表 2)，這些已量測過的特性包含：網絡圖形類型為具方向性或無方向性 (type of graph)、節點的總數 (n)、邊的總數 (m)、平均度數 (z)、平均節點間距離 (l)、冪次率 (power-law) 分布指數值 (α) — 若無 α 值，則賦予破折號 (—) 來代表 / 另外

對於有向圖形賦予進入程度指數與退出程度指數 (in/out-degree) 以及群聚係數 (C) 等網絡分析統計數據。

表 2 所述統計數據所呈現出的統計意義多為網絡數據的敘述性統計內容,如節點的總數 (n)、邊的總數 (m)、平均度數 (z)、平均節點間距離 (l) 等;相對而言,冪次率(power-law)分布指數值 (α) 則代表無尺度網絡的存在與否及其程度,群聚係數 (C) 其合理範圍為 $0 \leq C \leq 1$,但在真實世界裡,群聚係數高於 1 的複雜網絡亦屢見不鮮,代表其網絡同時兼具高群聚度、重疊結構與多重度,平均節點間距離 (l) 越小則代表具有低間隔度,可謂更為符合「高群聚度」與「低間隔度」等兩個特性,即表徵出有小世界網絡現象的存在。

表 2 複雜網絡的實際統計數據彙整表

網絡形式		network	type	n	m	z	l	α	C
社會學領域	電影演員	film actors	undirected	449 913	25 516 482	113.43	3.48	2.3	0.78
	公司董事	company directors	undirected	7 673	55 392	14.44	4.60	-	0.88
	數學家共同撰述	math coauthorship	undirected	253 339	496 489	3.92	7.57	-	0.34
	物理學家共同撰述	physics coauthorship	undirected	52 909	245 300	9.27	6.19	-	0.56
	生物學家共同撰述	biology coauthorship	undirected	1 520 251	11 803 064	15.53	4.92	-	0.60
	電話連繫圖	telephone call graph	undirected	47 000 000	80 000 000	3.16		2.1	
	電子郵件	email messages	directed	59 912	86 300	1.44	4.95	1.5/2.0	0.16
	電子郵件地址	email address books	directed	16 881	57 029	3.38	5.22	-	0.13
	學生人際關係 性接觸	student relationships sexual contacts	undirected undirected	573 2 810	477	1.66	16.01	-	0.001 3.2
資訊學領域	全球資訊網絡(教育)	WWW nd.edu	directed	269 504	1 497 135	5.55	11.27	2.1/2.4	0.29
	全球資訊網絡(站台)	WWW Altavista	directed	203 549 046	2 130 000 000	10.46	16.18	2.1/2.7	
	引用網絡	citation network	directed	783 339	6 716 198	8.57		3.0/-	
	羅氏英文百科詞典 文字語詞同現	Roget's Thesaurus word co-occurrence	directed undirected	1 022 460 902	5 103 17 000 000	4.99 70.13	4.87	-	0.15 0.44
應用科技學領域	電腦網際網路	Internet	undirected	10 697	31 992	5.98	3.31	2.5	0.39
	電力系統格網	power grid	undirected	4 941	6 594	2.67	18.99	-	0.080
	鐵路交通運輸	train routes	undirected	587	19 603	66.79	2.16	-	0.69
	軟體套件封包	software packages	directed	1 439	1 723	1.20	2.42	1.6/1.4	0.082
	軟體等級類別	software classes	directed	1 377	2 213	1.61	1.51	-	0.012
	電子電路 P2P-點對點互動	electronic circuits peer-to-peer network	undirected undirected	24 097 880	53 248 1 296	4.34 1.47	11.05 4.28	3.0 2.1	0.030 0.011
生物學領域	新陳代謝網絡	metabolic network	undirected	765	3 686	9.64	2.56	2.2	0.67
	蛋白質交互影響	protein interactions	undirected	2 115	2 240	2.12	6.80	2.4	0.071
	海洋生物食物鏈	marine food web	directed	135	598	4.43	2.05	-	0.23
	淡水生物食物鏈	freshwater food web	directed	92	997	10.84	1.90	-	0.087
	神經網絡	neural network	directed	307	2 359	7.68	3.97	-	0.28

資料來源：Newman (2003)；本研究整理。

2.2 圖形理論與網絡社群結構圖形化

2.2.1 圖形理論

Newman (2004) 認為圖形理論 (graph theory) 過去發源於數學圖論且是離散數學的基礎原理，在輔助社會網絡學者研究網絡結構而演進至今，已發展成為具實體知識架構的理論。Scott (2000) 強調圖形理論所關注的是網絡構成要素的集合與這些構成要素間的關聯性，要素諸如被稱為「點」的節點與被稱為「線」的連結邊 (線)。

在圖形理論中，最廣泛被應用的研究概念就是網絡圖形「密度 (density)」，其代表意義為一個網絡圖形中各節點之間所關聯的稠密程度，在一個網絡完全圖 (complete graph) 意指一個網絡圖形中的每一個節點間，都具有相互直接連結關係，每個節點之間越具關聯性，則網絡圖形密度就越大。

探討網絡圖形密度也必須考慮到網絡圖形的「內含度 (inclusiveness)」與各節點「度數總和」；內含度即意指網絡圖形中扣除孤立節點個數後仍具有各種關聯所包含節點數與其網絡內節點總數 (孤立節點與關聯節點的總和) 之比值，亦即「內含度 = (網絡內節點總數 - 孤立節點數) / 網絡內節點總數」，如圖 16 中左起第三個網絡圖形所示，內含度即為 $(4 - 1) / 4 = 0.75$ ；度數總和則代表每對節點間連結關係的總和，如連接 A 節點與 B 兩節點間的連接線數為 1，但 A 連接 B 與 B 連接 A 兩連結關係的度數總和則為 2，因此網絡圖形各節點間連結關係的度數總和即為連接線數的兩倍，如圖 16 所示，度數總和與連接線數間的比值皆為 2:1。

如圖 16 所示，紅點即為節點 (node)，節點數 (N)，藍線則為連接線 (連接邊: edge)，連接線數 (L)，最多連接線總數為 $N(N-1)/2$ ，網絡圖密度

計算方程式為 $L / N(N-1) / 2$ ；如圖 16 中，右起第一個網絡圖，節點數 = 4，
 連線數 = 6，則該網絡圖形密度即為 $6 / 4(4-1) / 2 = 1$ 。

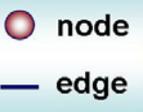
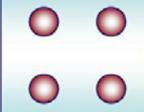
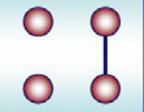
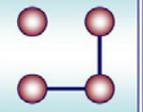
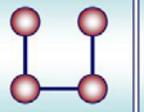
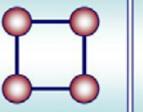
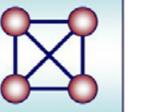
						
相連點數	0	2	3	4	4	4
內含度	0	0.5	0.75	1.0	1.0	1.0
度數總和	0	2	4	6	8	12
連線數	0	1	2	3	4	6
密度	0	0.167	0.333	0.5	0.667	1.0

圖 16 網絡圖形密度比較示意圖
 資料來源：Scott (2000)；本研究整理。

Dorogovtsevyz 與 Mendesy (2002) 認為現代複雜網絡結構分析應由數學圖形理論 (mathematical graph theory) 來進行研究，如其對產生無尺度網絡的主體結構物所進行之相關研究，即指出對於網絡發展而言，存在著優先連接機制 (preferential linking mechanism)，對於已給定度分佈均衡對稱 (symmetric) 而非強烈相關聯的網絡而言，可運用圖形理論予以施行結構程序。

Jacobsen (2000) 觀察近年來網絡相關研究發展趨勢後，其表示網絡研究學者將研究焦點集中在網絡最短距離之測量學 (geodesics) 領域，許多現今複雜網絡演算法乃基於數學分支學派的圖形理論基礎上作延伸發展。

2.2.2 網絡社群結構圖形化

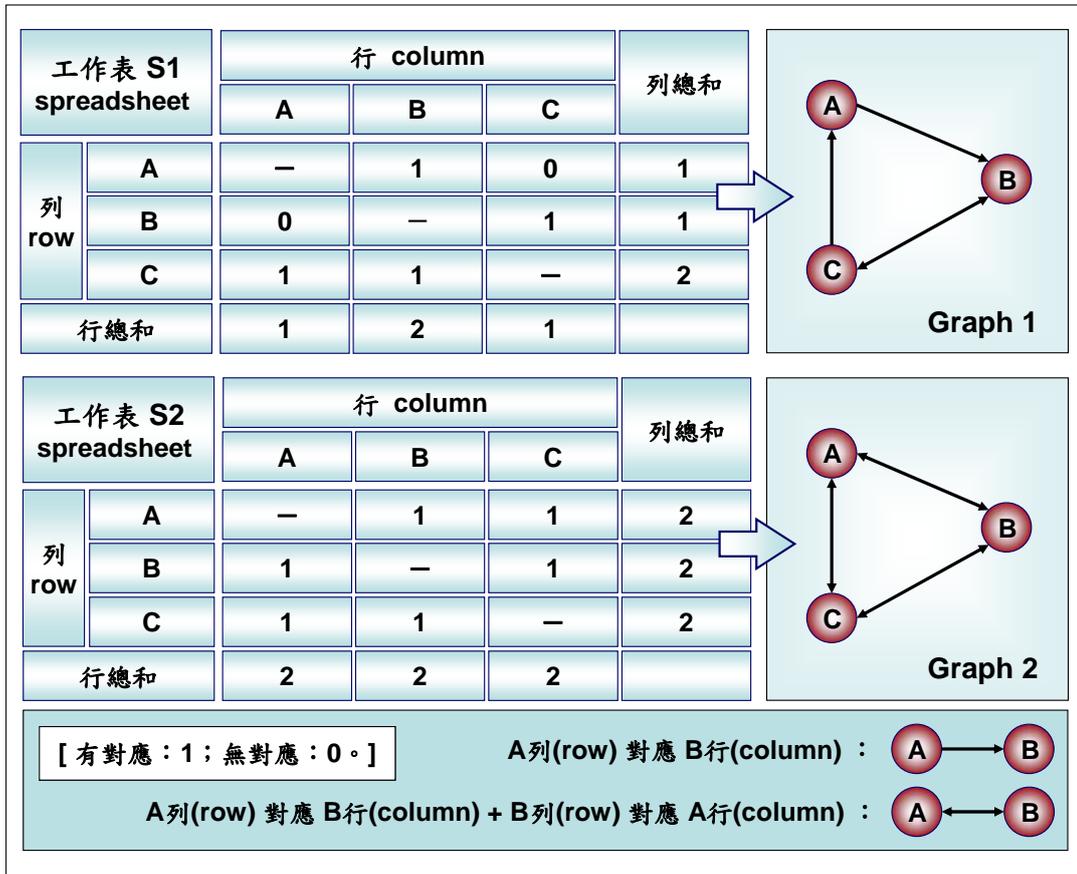


圖 17 工作表格式網絡數據矩陣圖形化示意圖

資料來源：Scott (2000)；本研究整理。

如圖 17 所示，將網路關係數據資料以水平為列 (row) 與垂直為行 (column) 所定義矩陣形式鍵入空白工作表格，其中網路關係有對應者為 1，網路關係無對應為 0，假設「A 列(row) 對應 B 行(column)」則圖形化後為 A 節點為起點 (端點) 以箭頭對至 B 節點的單箭頭連接關係，假設「A 列(row) 對應 B 行(column) + B 列(row) 對應 A 行(column)」經圖形化後則呈現 A 節點與 B 節點之間為雙箭頭的相互連接線性關係。

2.3 網絡社群結構分析計量演算法

對於網絡社群結構相關研究之可溯年代已久遠，如 Garey 與 Johnson 等學者 (1979) 曾在計算機科學領域中探索圖形劃分(graph partition)的演算法，另如 Scott(2000)曾在社會學領域中探討等級體系群集(hierarchical clustering)之基本演算法，且其演算法又可分為凝聚方法(agglomerative method)與分裂方法(divisive method)兩大類，Girvan 與 Newman(2001)依據分裂方法原理所發展出之演算法稱為 GN 算法(GN method)，因其算法可彌補過往學者所提出之傳統演算法的不足處而成為近年來分析研究複雜網絡社群結構之標準演算法。

然而 Girvan 與 Newman(2001)提出的 GN 算法有個分裂演算之不足處，亦即此算法無法直接從網絡上拓撲結構(topologic structure)來判斷其演算所求得之社群是否符合實際網絡中之社群結構(即無法量化其所研究之網絡結構)，另一個不足處為存在於 GN 算法中計算複雜度過大的問題；於是相關研究者相繼在 GN 算法原理基礎上衍生出許多種改良式演算法，例如 Tyler 等 (2003) 所提出的節點集演算法(Tyler-Wilkinson-Huberman method, TWM method)、Radicchi 等 (2004) 所提出的自包含 GN 演算法(self-contained GN algorithm, RCCLP method) 以及 Fortunato 等(2004)所提出的資訊向心性演算法(Information centrality method)等多種 GN 改良式演算法。Newman(2004)亦提出有別於上述分裂方法原理之 Newman 快速演算法(Newman fast algorithm)，屬於一種等級體系群集凝聚方法(Agglomerative hierarchical clustering method)，如演算分析 Internet、WWW、電子郵件網絡與科研合作等複雜網絡相關研究。

探討上述社會學領域中等級體系群集之兩大類演算相關方法後，可發現無論是凝聚方法或者是分裂方法，其兩類演算法之研究目的皆為了可以將複雜系統網絡結構區別劃分為數多個相互隔離的社群。然而存乎於現實中的許多複雜網絡卻不一定絕對存在著彼此相互獨立的社群結構；往往真實的複雜網絡是由許多社群

在結構上彼此相互重疊所形成，如同 HUANG C. Y.、Sun C. T. 與 Lin H. C. 等(2004)所提出社會分身點概念(Social Mirror Identity Concept)，在真實社會中，每一個體會有其不同的分身點存在於不同社群中，如同時擁有工作場合、學校、家庭與社團等不同身分，若將上述社群交疊起來，除了個體本身是一個重疊處，亦可能會有其他個體(以人為節點)存在著重疊現象(overlapping phenomenon)，在此複雜社會網絡存在重疊結構情況下，就難用上述諸多演算法來劃分這些社群。

Palla 等(2005)為研究分析複雜網絡內重疊社群結構而提出「派系過濾算法(clique percolation, CP)」，其研究團隊分別進行科學家合作網絡、語系關聯網絡與蛋白質關係網絡等具有複雜網絡重疊結構特性之多個驗證性研究。定義「典型社群(typical community)」為是由數個完整全連結次網絡圖形(Complete (fully connected) subgraphs)所組成之集合，這些完整全連結次網絡圖形(有些學者稱其為「次全耦合網絡」)，而社群即是完整全連結網絡圖形，被 Palla 等屬名為派系 (clique)，即可利用派系間重疊矩陣進行 CP 演算法，且在 CP 演算理論原則下，複雜網絡社群重疊量 (overlap size，表示任意兩個社群共有結點數目) 和社群大小 (社群包含的結點數) 皆滿足冪律分布特性，亦即符合無尺度網絡特性。

綜合上述文獻討論部份，近年大規模複雜網絡社群結構分析算法所面臨主要研究限制為「演算時間複雜度過大」與「分析得到正確合理社群結構之準確性」等問題，意即演算時間快速會喪失準確性，然而為求準確性卻會使時間複雜度增大。因此，兼顧演算時間快速且準確性高之複雜網絡結構分析演算法，即為本研究需面對解決的研究問題，同時亦須將複雜網絡重疊結構特性考慮在內，以順利進行台灣科技合作研究社群複雜網絡結構特性分析。

2.4 網絡分析應用軟體與網絡關係數據

2.4.1 網絡分析應用軟體

1. UCINET 6.186

Scott(2000)在其著作《社會網絡分析法》書中附錄內容提及 UCINET 網絡分析軟體是源起於加州大學爾灣分校 (University of California, Irvine) 一群網絡分析學者所編撰設計，目前 UCINET 軟體已由哈佛大學 Stephen Borgatti, Martin Everett 與 Linton Freeman 等網絡分析學者自 1999 年起所組成的軟體研發機構 (Analytic Technologies, Inc.) 繼續進行擴展迄今為 2008 年 4 月 14 日所發行的 UCINET 6.186 版本。

網路關係數據資料係以水平為列 (row) 與垂直為行 (column) 所定義矩陣形式的空白工作表格程式 (spreadsheet) 來進行輸入，其中水平列欄位所是為兩節點間線性關係連接線的起點 (端點)，垂直行欄位所對應的是被具有方向性的連接線箭頭所指向的節點。

UCINET 應用軟體裡，主要網絡分析程序有內 (凝) 聚力 (cohesion) 分析、成分 (components) 分析、中心性 (centrality) 分析、小團體 / 子群 (subgroups) 分析以及角色與位置 (roles & position) 分析等，上述主要網絡分析程序中，可被細分為更專業的演算程序來進行相關複雜網絡結構特性分析驗證 (Borgatti, Everett & Freeman, UCINET User's guide, 1999)。

2. NetDraw 2.076

在 UCINET 操作介面裡，將網路關係數據資料以水平為列 (row) 與垂直為行 (column) 所定義矩陣形式鍵入空白工作表格，儲存其相關矩陣內

網絡關係數據後，即可在 NetDraw 2.076 操作介面中開啟原儲存之檔案格式，將網絡關係數據予以圖形化。

在圖形化輸出後，可以直觀三維（3 dimension）空間視覺模式對整體複雜網絡結構或自我網絡結構上之任一節點以滑鼠左鍵點選、按住來做任意的拖曳動作，藉以清晰地觀察整體網絡或自我網絡等結構上的圖形化關聯性，運用 NetDraw 可將每個節點為中心的自我網絡獨立顯現於整體網絡結構外的優異圖形視覺化功能，而可以仔細探勘出節點與節點動態連結的關係，如呈現本研究模型設計所衍生自我網絡結構重疊模體子圖形。

另外，NetDraw 可將整體網絡或自我網絡內的全數節點以不同顏色標定並訂定名稱，並可選擇將原有網絡關係數據的方向性及連接線（邊）上所鍵入的賦權值予以隱含或顯出，便利網絡分析學者進行不同圖形三維結構特性的視覺觀察，再將分析後整體網絡或自我網絡相關圖形輸出。



2.4.2 網絡關係數據

複雜網絡分析法係因針對諸多分析網絡結構研究議題而相應出現，對於網絡結構關係的探勘與討論，亦可藉由相關網絡分析法來進行驗證，應用這些網絡分析法的關鍵要素取決於實質網絡群聚關係數據（network clustering relational data），而相關研究真實統計數據的可取得性則為次要，因為網絡關係數據可以透過建立網絡結構關係模型假設且藉由文獻、紀錄與資料庫等數據來源予以觀察及轉換取得，來進行相關演算分析。Scott（2000）建議在完整收集全數的網絡研究數據資料後，相關研究網絡關係數據資料必須以數據矩陣（data matrix）陣列形式予以保存，且此矩陣為一對稱（均勻／正方）或不對稱（均勻／長方）等數據形式，可將經由編碼過的網絡數據於矩陣行列中組織後進行運算。

進行本研究分析時，將以國科會研究計畫主持人為社會網絡之基礎節點，且以主持人與研究計畫參與者為其主要連接關係（合作研究），然而在實際運用現行台灣國科會 GRB 搜尋系統之資料集時，每個年度間，所存在的計畫主持人與研究計畫參與者（主要/次要節點）數目是確定的，所以整體科技研究社群複雜網絡結構是確定的，以年度作區隔可以有效降低演算時間複雜度，並且可以計算出每個年度時間剖面上之重疊結構部位，藉由科專計畫主持人為重疊節點來貫串出各年度之時間軸上之重疊立體結構，用以觀察出科專計畫主持人年度別上社會網絡重疊結構特性與呈現歷年來實質重疊結構所累加的學術能量與社群消長。

運用台灣國科會 GRB 搜尋系統之資料集（真實數據）來分析台灣科技合作研究社群之複雜網絡整體結構與個別重疊社群結構之特性時，需注意且克服另一衍生的研究限制，即計畫主持人與研究計畫參與者之身份確定，例如姓名重複與其服務機關所在等問題，能輔以國家科技人才資料庫(NPHRST)進行身分比對與其研究專長領域之確定，如此有助於提升社群結構分析之準確性。

在進行台灣科技合作研究社群之複雜網絡整體結構與個別重疊社群結構之特性分析前，可先以單一年度(如 96 年度)之合作研究科專計畫主持人，進行前導性分析，先行驗證是否符合無尺度網絡特性—「集結節點」與「遵循冪次定律」，透過國科會 GRB 搜尋系統先固定研究方式為「合作研究」後所呈現資料集內之年度、經費、研究性質、研究領域、主管機關、執行機構與計畫參與人數等參數資料內容，重新賦權於台灣科技合作研究社群之複雜網絡整體結構與個別重疊社群結構上，經研究實證分析後，再逐年比對分析各年度的網絡特性，提出最佳化研究績效權數考評模式，對國科會未來設計更新之科技計畫績效管考平台時，得提供作建議使用。

2.5 國家創新系統與合作研究科技專案

2.5.1 國家創新系統

國家型科技專案計畫可增進國家競爭優勢及因應當前國家重大社會經濟問題之需要，依據國家跨世紀發展策略慎選課題，結合科技產業研發層次之上、中、下游資源，規劃推動國家型科技計畫，有效提升創新研發成果（國科會，2003）。本研究即以負責「合作研究」科技專案計畫的計劃主持人為自我網絡中心節點，分別對應合作研究社群成員、主管機關及執行機構與研究性質及研究領域等節點來建構完整複雜網絡以探索分析台灣科技合作研究社群之複雜網絡結構特性。

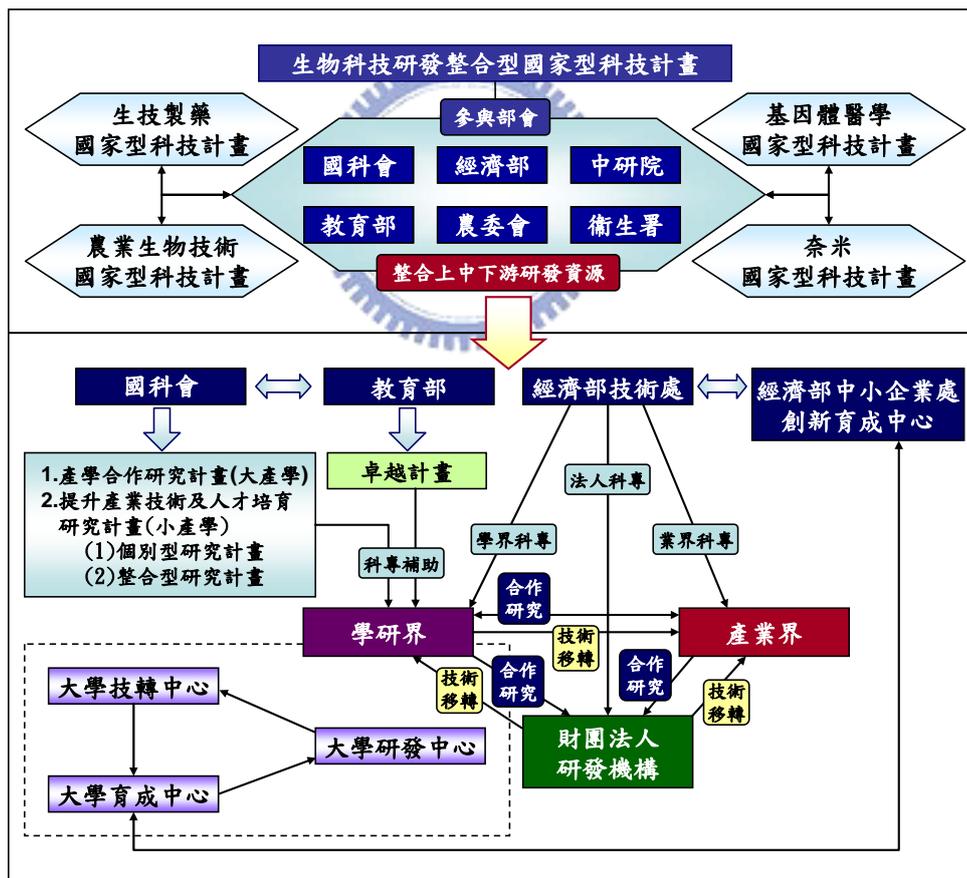


圖 18 國家創新系統科技專案計畫互動模式示意圖

資料來源：Chen Chun-Wei (2004)；本研究整理。

目前在國科會主導之九大國家型科技專案計畫中，與生物科技產業研發層次之上、中、下游資源整合有關的國家型科技專案計畫，有生技製藥、基因體醫學、農業生物技術與奈米等四個國家型科技專案計畫，上述這些科技專案計畫實質透過國科會、經濟部及教育部等科技專案計畫主管機關來共同推動，並由其監督、管理與責成所屬執行機構而形成各項科專計畫之互動機制(如圖 18 所示)，其中「合作研究」科技專案計畫實質存在於國科會、教育部、經濟部等主管機關以及學研界、產業界、財團法人研究機構等執行機構等國家科技創新系統範疇。

2.5.2 合作研究科技專案

依據行政院國家科學委員會於中華民國九十三年(2004)編定《科技統計名詞定義手冊》內容所列示，「合作研究計畫(Joint Research Projects)」係指兩個單位或個人以上(含兩個)對某項研究計畫共同規劃、協調進行研究者屬之。

經濟部技術處(2004)對於「合作研究計畫」之相關定義為在合作研究科專計畫之相關研究活動中，與業界在技術上進行合作研發，合作研究之廠商應支付配合款給研究機構統籌支用，研發成果屬於合作業者與執行單位共有，合作業者須與研發單位共同承擔研發風險。

本研究進行台灣科技合作研究社群之複雜網絡整體結構與個別重疊社群結構之特性分析時，所收集之網絡數據真實資料(real data)以台灣國科會 GRB 搜尋系統之資料集為資料收集範圍，因此「合作研究計畫」定義以上述台灣國科會(2004)編定《科技統計名詞定義手冊》內容所述之定義為主要參考依據。

第三章 研究方法與實驗設計

本章『研究方法與實驗設計』內容將論述如何建立本研究「以計畫主持人(PI)為網絡結構重疊模體三維模型」之複雜網絡模型設計與其所需用以驗證的相關研究方法，將詳細列述進行本研究複雜網絡個案特性分析時所需相關演算公式之定義，參數如何應用來衡量網絡結構特徵，解釋分析特徵值相關實驗操作涵義與其合理範圍閾值。

3.1 網絡模型設計

本研究是以國科會研究計畫主持人 (principal investigator, PI) 為複雜網絡的基礎節點，且以主持人與研究計畫參與者為其主要連接關係(合作研究)，實際運用現行台灣國科會 GRB 搜尋系統資料集(如下圖 19 範例所示)，探索分析歷年來台灣科技合作研究社群之複雜網絡結構特徵(性)。



圖 19 台灣政府研究資訊系統介面圖

資料來源：台灣國科會（2008）

• 中文計畫名稱	輕金屬產業發展計畫	• 研究性質	應用研究
• 計畫英文名稱	Light Metal Industry Development Project	• 研究方式	合作研究
• 系統編號	PG9601-0383	• 研究期間	9601 ~ 9612
• 計畫編號	9601101034	• 研究經費	21414 千元
• 主管機關	經濟部工業局		
• 執行機構	財團法人金屬工業研究發展中心		
• 年度	96 年		
• 研究領域	材料科技, 機械工程類, 交通運輸, 光電工程, 其他 (醫)		
• 研究人員	葉俊麟, 陳盛勇		
• 中文關鍵字	輕金屬; 鋁; 鎂; 鈦; 鋁合金; 鎂合金; 鈦合金; 輕金屬材料		
• 英文關鍵字	light alloy; light metal; magnesium; titanium; aluminium; ; ;		
• 中文摘要	本年度預計完成以下4個分項計畫：1.輕金屬產業發展環境建構計畫2.運輸工具產業輕金屬組件關鍵技術研發及開發創新應用產品計畫3.半導體/電子產業輕金屬組件關鍵技術研發及開發創新應用產品計畫4.生技/民生產業輕金屬組件關鍵技術研發及開發創新應用產品計畫。本計畫配合各分項計畫之執行，預計完成廠商技術輔導/技術服務11案以上，可促進輔導專業界投資新台幣2.2億元以上，提升業界產值2.5億元以上，節省產業成本2500萬元以上，並推廣國內輕金屬產業整體投資達新台幣6億元以上。		
• 英文摘要	This project estimates to complete the following four sub-projects this year: 1. program of foundation and facilities for light metal industry, 2. program on key technology of light metal components for transportation vehicle industry and development of innovation applied products, 3. program on key technology of light metal components for semi-conductor/electronics industries and development of innovation applied products, 4. program on key technology of light metal components for bio-technology/civil industries and development of innovation applied products. In line with the implementation of each sub-project, this project estimates to complete the technical assistance/ technical services to more than 13 manufacturers. The project can facilitate the industrial investment, reaching NTS220 million, increase the production value for industry more than NTS250 million, and save the industrial cost more than NTS25 million. In the meantime, this project wishes to promote the overall investment of domestic light metal industry, reaching more than NTS600 million.		

圖 20 台灣政府研究資訊智慧搜尋系統計畫詳目介面圖

資料來源：台灣國科會（2008）

進入台灣國家科學委員會網站中所附屬的「政府研究資訊系統」後，可再進入「智慧搜尋系統計畫詳目使用介面」（如圖 20），本研究即先固定資料庫內搜尋科專計畫研究方法欄位為「合作研究」，且設定「主管機關」、「執行機構」、「研究性質」、「研究領域」與「研究人員」為網絡關係數據的建立要件，其中「研究人員」欄位中的首位人員即為該科技專案計畫主持人。

本研究延續 Stanley Wasserman 與 Katherine Faust (1994) 所主張「共事網絡」與「二分關聯網絡圖形」等概念，並參考 Chung-Yuan Huang (2005) 所提出的「社會分身點」與「多重代理人系統」等雙層二維模型概念，以及加入 Palla 等人 (2005) 所提出具有「非專一身分」的「重疊社群結構」與相關「派系分析法」等相關網絡研究概念來進行實驗模型設計，綜合上列諸多研究概念及其已建立合理且具體的相關理論基礎，本研究即提出「以計畫主持人 (PI) 為重疊社群結構之自我中心節點網絡結構重疊模體三維模型」，如圖 21 所示。

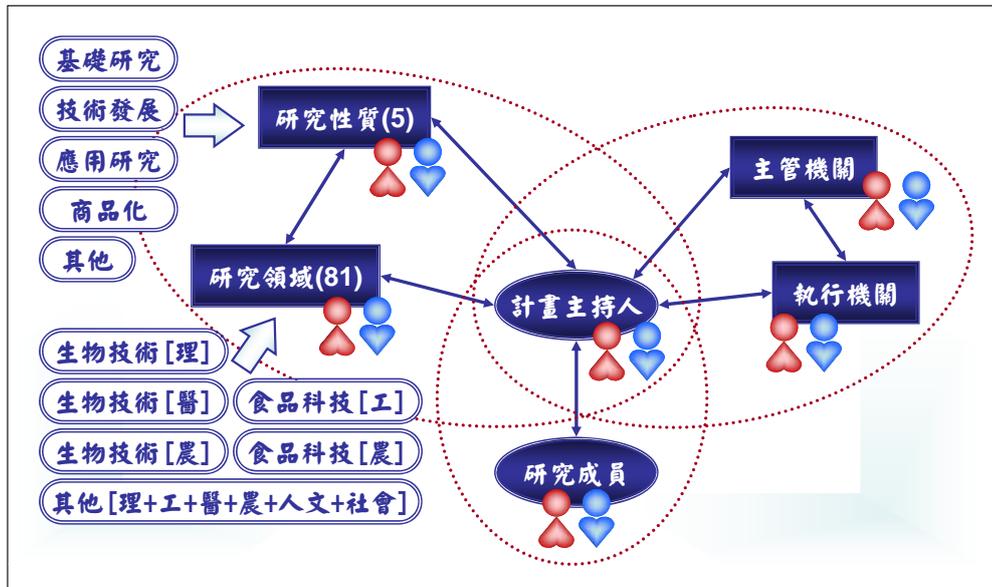


圖 21 台灣科技合作研究社群自我網絡結構重疊模體三維模型設計

本研究所提出以計畫主持人 (PI) 為多重代理人暨分身節點，其同時可以出現在不同的合作研究科專計畫裡，擔任不同科專計畫之主持人或共同合作研究之參與研究員。此三維模型是以科專計畫主持人為自我中心節點來形成網絡結構，科研人際間從事研究活動時所發生相關機構位置，如主管機關及執行機構之對應窗口負責人，甚或為該科專計畫所相對應之研究性質與研究領域（可視作網絡所發生之事件或視為審議該科專研究所屬性質與領域之審議委員），以及參與合作研究科專計畫成員等三個社交圈（如圖 21 中的三個紅色虛線圈）皆交集重疊在科專計畫主持人此一自我中心節點而構成本研究所設計的三維模型。

本研究即可以上述兩個主要觀點而提出「以計畫主持人 (PI) 為重疊社群結構之自我中心節點網絡結構重疊模體 (motif) 三維模型」為本研究基礎觀點進而探討以計畫主持人為中心性節點所形成的自我網絡 (Ego network)。本研究可將國科會網站所建構的政府研究資訊智慧搜尋系統計劃詳目裡所列的網絡數據，以網路關係數據資料係以水平為列 (row) 與垂直為行 (column) 所定義矩陣形式的空白工作表格程式 (spreadsheet) 來進行輸入則可驗證此三維模型。

3.2 網絡模型驗證方法

3.2.1 內聚力分析 (Cohesion Analysis)

1. 密度

密度 (density) 是運用來計算網絡或數據矩陣的密度，二元網絡 (binary network) 的密度計算方式即以實際已連結 (ties) 總數除以可能被連結總數，對於已加權值的網絡而言，則需以加權總數除以可能被連結總數。

2. 群聚係數

群聚係數 (clustering coefficient) 是網絡圖形分析方法中常用的一個重要分析指標，群聚係數是用以顯示在網絡關聯圖形中，節點與節點之間相互關聯的密切程度，若網絡圖形的群聚係數越高，則表示此網路圖形中，節點與節點之間的關聯性越是密切。

$$C_i = \frac{2 \times e_i}{k_i \times (k_i - 1)} \quad \text{公式[1]}$$

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n} \quad \text{公式[2]}$$

C_i 代表個別節點自我網絡子圖形的群聚係數， C 代表整體網絡圖形的平均群聚係數， n 代表節點總個數， e_i 代表節點 i 與所有相毗鄰之節點所形成的網絡子圖形裡的連結邊數， k_i 代表與節點 i 相連結的節點個數。

本研究即利用公式[1]來計算台灣科技合作研究社群網絡中所有個別節點自我網絡子圖形的群聚係數，並利用公式[2]來求取整體網絡圖形的平均群聚係數以驗證台灣科技合作研究社群網絡的群聚性。

3. 傳遞性 (transitivity)

Newman (2003) 研究認為真實網絡內存有三倍傳遞分形 (fraction of transitive triples) 與所謂的漣漪效應 (the ripple effect)。經由傳遞性分析可找出存在於網絡間具有傳遞性的三倍體及其密度，三個節點設為U、V及W時，在有方向性的圖形中，是具有傳遞性的，如圖 22 所示。

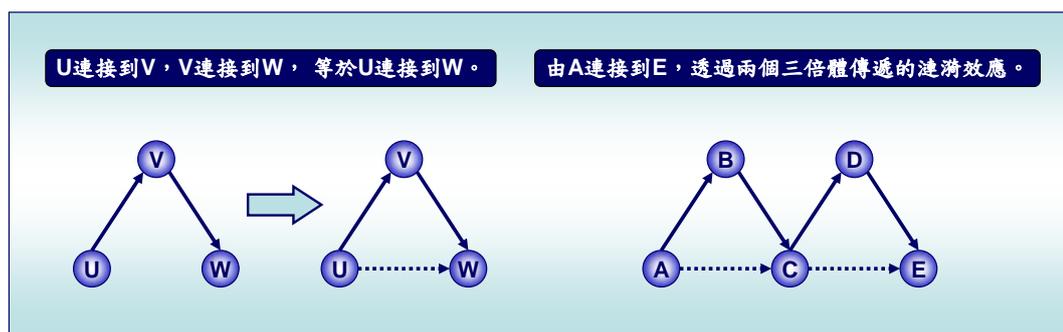


圖 22 三倍體傳遞性與網絡漣漪效應示意圖

如圖 22 內的三倍體可謂是小世界網絡內所具備的「分形性」特徵，透過 UCINET 圖形演算程序，可以計算網絡內具傳遞性的三倍體個數，與其網絡傳遞性的百分比率，若網絡內具完全之傳遞性，則其傳遞性則為 100%。

4. 網絡連結路徑測量

網絡連結路徑測量可透過 UCINET 圖形演算程序，可以計算網絡內測量線距離的出現頻率 (frequencies of geodesic distances)，如本研究設定節點與節點之間的平均距離等於 1，則測量出的測量線平均距離等於 1，測量線距離的出現頻率等於網絡內所有連接線的總數，意指網絡內所有連接線的總數越大，網絡內各節點間的連結複雜程度越高。

3.2.2 小團體分析／派系分析 (Subgroups/Cliques Analysis)

Augustson 與 Minker (1970) 認為所謂的派系即是一個最大完全子圖形，另外 Grotschel 與 Wakabayashi (1990) 強調一個派系就是一個自我中心節點的子集，亦即在派系網絡結構圖形中，每對結點間都要有一條連接線來做連結。因此，構成網絡規模的要素就是節點的總數，構成最大完全子圖形的要素則為每對結點間皆有連結關係。

1. 派系分析

Bron 與 Kerboscht (1973) 提出了派系演算法，其可藉由圖形分析找出所有存在於網絡圖形中的所有派系（即所有的最大完全子圖形），如同圖 23 所示，即說明不同網絡規模下的派系最大完全子圖形。



圖 23 不同網絡規模派系子圖形比較示意圖

資料來源：Scott (2000)；本研究整理。

透過電腦分析軟體 (UCINET) 例程序，可進行派系重疊結構分析演算，可雙向操作測量兩派系間共有參與者數目，此分析法給予每一對參與者在同一派系重疊結構中所發生關連次數有效資訊，基於所提供的資訊在服從層級群聚程序下，可以演算出一個層級式群聚樹狀圖 (hierarchical clustering) 與其重疊矩陣 (overlap matrix)。

2. N-派系分析

Bron 與 Kerboscht (1973) 亦提出了 N-派系演算法，其可藉由圖形分析找出所有存在於網絡圖形中的所有 N-派系，即任意兩節點間所有不超 N 路徑距離長度且無方向性圖形 (undirected graph) 中的最大完全子圖形。透過電腦分析軟體 (UCINET) 例程序，可進行 N-派系重疊結構分析演算，此分析法給予每一對參與者在同一 N-派系重疊結構中所發生關連次數有效資訊，基於所提供的資訊在服從層級群聚程序下，可以演算出一個層級式群聚樹狀圖與其重疊矩陣。

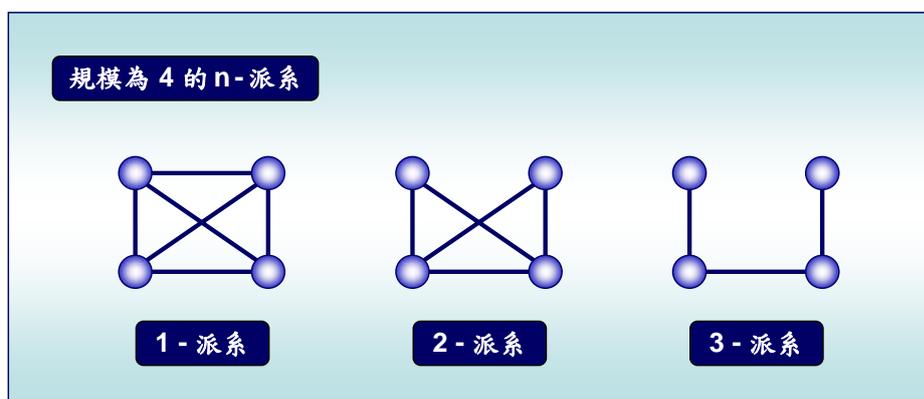


圖 24 相同網絡規模所屬 N-派系子圖形比較示意圖

資料來源：Scott (2000)；本研究整理。

有如 Scott (2000) 所列示範例，圖 24 所示即分別假設網絡關聯連接線直徑限定為 $N=1, 2, 3$ ，則分別以連結距離為 1, 2, 3 來確定派系網絡結構中的成員，並且必須分別限制該派系直徑不得大於 1, 2, 3 (其至多分別等於 1, 2, 3)，則圖中子圖形即可分為 1-派系 (圖左)、2-派系 (圖中) 以及 3-派系 (圖右)。

3. N-宗派分析

Alba (1973) 與 Mokken (1979) 在相關研究中主張 N-派系概念後，有再度提出應該在 N-派系研究概念基礎上，將 N-派系的網絡關聯連接線直徑限定為 N，上述這般定義的 N-派系即稱「N-宗派 (N-clan)」。

有如 Scott (2000) 所列示範例 (圖 25 所示)，假設網絡關聯連接線直徑限定為 $N=2$ ，則以連結距離為 2 來確定派系網絡結構中的成員，並且必須限制該派系直徑不得大於 2 (至多等於 2)，則圖 25 中子圖形 A 屬於 2-派系但不為 2-宗派，而圖中子圖形 B 與子圖形 C 皆為 2-宗派 (兩子圖形亦屬於 2-派系)。

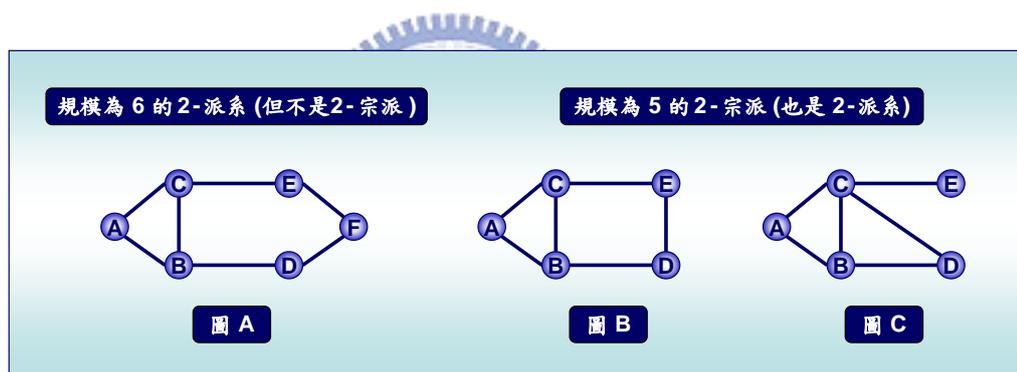


圖 25 不同網絡規模所屬 N-派系與 N-宗派子圖形比較示意圖

資料來源：Scott (2000)；本研究整理。

透過電腦分析軟體 (UCINET) 例程序，可進行 N-宗派重疊結構分析演算，此分析法給予每一對參與者在同一 N-宗派重疊結構中所發生關連次數有效資訊，基於所提供的資訊可以演算出一個層級式群聚樹狀圖與其重疊矩陣。

4. K-叢派分析 (k-plex)

Seidman 與 Foster (1978) 所提出的 K-叢派分析方法即是以此圖形分析方法找出所有存在於網絡結構圖形裡的 K-叢派子圖形，K-叢派意指具有下列特性之最大子圖形：被引導出的子圖形的每個節點至少連結到 $n-k$ 個其他節點， n 代表在此被引導出的子圖形，此基本演算法為一種深度首先搜尋法。如圖 26 所示，圖左是網絡規模為 6 的 3-派系，圖右則是網絡規模為 6 的 3-叢派（也是 3-派系）。

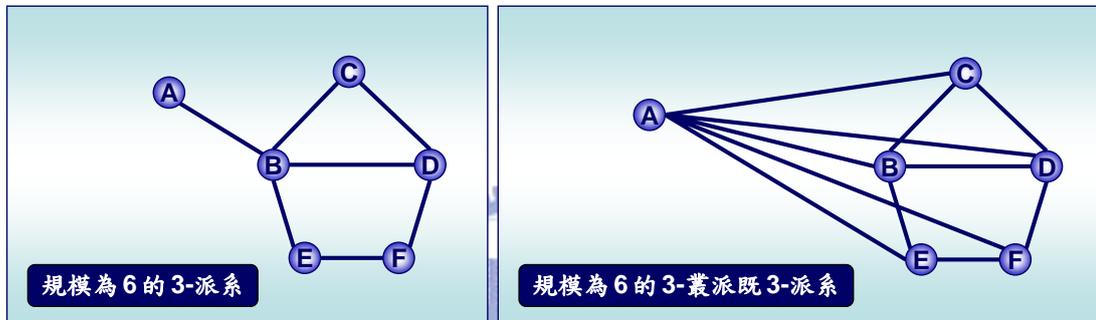


圖 26 網絡規模為 6 所屬 N-派系與 K-叢派子圖形比較示意圖
資料來源：Scott (2000)；本研究整理。

透過電腦分析軟體 (UCINET) 例行程序，可進行 K-叢派重疊結構分析演算，此分析法給予每一對參與者在同一 K-叢派重疊結構中所發生關連次數有效資訊，基於所提供的資訊可以演算出一個層級式群聚樹狀圖與其重疊矩陣。

3.2.3 自我網絡密度分析

自我網絡密度 (ego network density) 是運用來計算個別自我網絡或數據矩陣的密度，二元網絡 (binary network) 的密度計算方式即以個別自我網絡內實際已連結 (ties) 總數除以個別自我網絡內可能被連結總數，對於已加權值的個別自我網絡而言，則需以個別自我網絡之加權總數除以其可能被連結總數。

透過電腦分析軟體 (UCINET) 例程序，可進行自我網絡密度分析，測量結果可得個別自我網絡的規模、個別自我網絡內的連結線總數、個別自我網絡內的節點成對 (pairs) 總數 (n 為節點規模即節點個數；總連結數為 $n(n-1)$) 以及個別自我網絡密度 (個別自我網絡內實際已連結總數除以其連結總數)。

3.2.4 中心性分析 (Centrality Measures)

1. 程度中心性 (Degree Centrality Measures)

Freeman (1979) 提出程度中心性分析演算方法，可計算每個節點的度數 (degree) 與標準化程度中心性 (normalized degree centrality) 並且產生一個全面網絡程度中心化 (degree centralization) 數值。

對稱圖形中，一個固定節點所毗連的節點數，即稱為節點度數。對於不對稱的數據「點入度： u 」 (in-degree of a vertex u) 即是藉由啟源於點入度所連結的數目。另外若數據被賦予權值如入 (in) 與出 (out) 的度數，點度數將會由這些連結權值的總數來構成。標準化程度中心性就是度數除以最大可能度數後以百分比數值呈現，此標準化數值僅適用於二元網絡矩陣數據。

假設一個二元網絡的節點為 $V_1 \cdots V_n$ ($i=1 \cdots n$)，且最大程度中心性為 C_{max} ，此網絡程度中心化測量方式即 $\sum(C_{max} - C(V_i))$ 除以最大可能程度數值， $C(V_i)$ 就是節點 V_i 的程度中心性。

透過電腦分析軟體 (UCINET) 例程序，可進行上述這些測量並獲得基於這些測量的一些敘述性統計資料，方向性圖形 (directed graphs) 必須均勻對稱，分析方法可如上述步驟被執行，或是以入與出的度數的分析方法來進行。

2. 接近中心性 (Closeness Centrality Measures)

Freeman (1979) 提出接近中心性分析演算方法，可計算每個節點的遠值(farness)與標準化接近中心性(normalized closeness centrality)並且產生一個全面網絡接近中心化(closeness centralization)數值。

節點的遠值是由該節點(視作自我中心節點)至其他每一個節點的測量距離長度總合，節點間交互作用的遠值即為接近中心性(closeness centrality)。節點標準化接近中心性是將節點間交互作用的遠值除以最小可能性的遠值(the minimum possible farness)後以百分比數值做分析數據之呈現。

在加總後取其交互作用值或在加總前取其交互作用值，再測量分析前可二選一來進行，故此接近值(closeness)是交互作用距離的總和(若無限距離則給予一個0值)，也可設定標準化程序為將節點間交互作用的遠值除以最大可能性的遠值。另外透過電腦分析軟體(UCINET)例行程序，可允許使用者藉由全路徑或全數軌跡之距離長度總和來進行測量，假若網絡數據為具方向性時，則UCINET例行程序計算則會將其區隔為入接近性(in-closeness)與出接近性(out-closeness)兩種分析。

3. 中介中心性 (Betweenness Centrality Measures)

Freeman (1979) 提出中介中心性分析演算方法，可計算每個節點的中介值(betweenness)與標準化中介中心性(normalized betweenness centrality)並且產生一個全面網絡接近中心化指標數據(betweenness centralization index)。

令 B_{jk} 為連結節點 j 與節點 k 兩者通過節點 i 之全數測量線值比率，節點 i 的中介值是所有 B_{jk} 的總和（此時節點 i, j, k 應明確為相異的節點），中介值演算法乃是此節點出現在測量線（geodesic）上所發生頻率數值的測量方法，標準化中介中心性是將中介值除以最大可能中介值後以百分比數值做分析數據之呈現。

假設一個二元網絡的節點為 $V_1 \cdots V_n$ ($i=1 \cdots n$)，且最大中介中心性為 C_{max} ，此網絡中介中性化測量方式即 $\Sigma(C_{max} - C(V_i))$ 除以最大可能中介數值， $C(V_i)$ 就是節點 V_i 的接近中心性。

透過電腦分析軟體（UCINET）例行程序，可對於對稱與非對稱等網絡圖形（symmetric and unsymmetric graphs）進行上述這些測量並獲得基於這些測量的一些敘述性統計資料。



4. 複合式中心性測量 (Multiple Centrality Measures)

Bonacich 等人 (2001) 提出特徵向量中心性分析演算法，可計算中心性測量的最大正向特徵值（the largest positive eigenvalue）特徵值的特徵向量。

假設一相鄰矩陣為 A ，節點中心性為 $C_i = \alpha \Sigma A_{ij} C_j$ (i 與 j 皆為節點而 α 為一參數值)，每一節點中心性是由其所相關連結節點的中心性來測定，參數值 α 為解方程式所需特殊交互作用的參數值，其採用的中心性將會符合相同特徵值的基本原理，標準化特徵向量中心性是將尺度化中心性特徵向量值除以最大可能差異值後以百分比數值做分析數據之呈現。

假設一個二元網絡的節點為 $V_1 \cdots V_n$ ($i=1 \cdots n$)，且最大特徵向量中心性為 C_{max} ，此網絡特徵向量中心化測量方式即 $\sum(C_{max} - C(V_i))$ 除以最大可能特徵向量數值， $C(V_i)$ 就是節點 V_i 的特徵向量中心性。

透過電腦分析軟體 (UCINET) 例程序，給予符合於特徵向量之正向最大特徵值以正確測量網絡特徵向量中心性。即可對於對稱圖形 (symmetric graphs) 進行上述這些測量並獲得基於這些測量的一些敘述性統計資料。

綜合上述 Freeman (1979) 所提出程度中心性、接近中心性、中介中心性等演算方法，另加上 Bonacich 等人 (2001) 對於特徵向量中心性分析重新提出相關演算方法 (原先 Bonacich 於 1972 年即提出「特徵向量中心性 (eigenvector)」之研究概念)，透過電腦分析軟體 (UCINET) 例程序，可對於上述程度中心性、接近中心性、中介中心性以及特徵向量中心性等相關測量方法進行分析並獲得這些測量複合式敘述性統計資料。

3.2.5 群體中心性分析 (Group Centrality Analysis)

Freeman (1979) 提出群體中心性 (group centrality) 分析演算方法，其主張的群體中心性演算法可透過電腦分析軟體 (UCINET) 例程序，可先設定欲找尋具有群體中心性之代表節點 (這種代表節點都是程度中心性最高值排序得來) 的數目，在看此設定數目內所找到的代表節點其連結到其他節點的程度數值加總佔整體全數節點最大可能程度數值 (即除以最大可能程度數值)，即可觀察得設定數目內所找到的代表節點可到達整體網絡內其他節點實際數目佔網絡內全數節點之百分比值。群體中心性比率值越低時，代表群體內的節點 (參與者) 互動集中在少數節點的情況比較低，群體中心性值只會介於 0 與 1 之間，數值越大，代表群體節點關聯能力集中在少數節點的情況越大，即意謂著設定後被找到的代表節點所具有群體中心性越大，越能影響其可關連到的節點。

假設找尋代表節點之設定數目為 10，被找到的代表節點可到達的關聯節點數為 54 個，佔網絡內全部節點 198 個的比值為 0.27（即百分比率為 27%），即意指這 10 個代表節點的群體中心性比值為 0.27，群體中心性比率為 27%。經過反覆設定測量，若代表節點之設定數目擴增至 27，此時可到達的關聯節點數為 101 個，佔網絡內全部節點 198 個的比值為 0.51（即百分比率為 51%），即意指這 27 個代表節點的群體中心性比值為 0.51，群體中心性比率為 51%，群體中心性分析結果是這 27 個代表節點在整體全部節點中佔有過半的關聯能力，好比在一個由 198 個成員所組成的大派系中，前 27 個成員具有各自的程度中心性，但 27 個成員的群體中心性卻佔有整個派系過半控制力（即節點關聯能力），可謂是此一大派系可集權受控制於這前 27 個代表成員所形成的核心小團體（派系管理階層）。

3.2.6 角色位置分析 (Roles and Positions Analysis)

角色位置分析 (CONCOR) 是基於重覆關聯聚合演算法 (the CONvergence of iterated CORrelations : CONCOR ; 亦稱迭代相關收斂演算法)，藉由所分裂開的塊模來劃分網絡數據。Breiger 等人 (1975) 認為「CONCOR」演算法是一種以相關係數為基礎的矩形陣列群聚分類方法，研究處理網絡數據資料時，運算上即可以採用 CONCOR 重覆關聯聚合演算法程序，藉由矩形陣列網絡數據資料其相關性的不斷交迭換算，利用分隔陣列方法來區分出不同群聚類別的塊模型 (Block Modeling)。

運用重覆關聯聚合演算法 (the CONvergence of iterated CORrelations : CONCOR ; 亦稱迭代相關收斂演算法) 可被用來演算、揭示出複雜網絡內結構對等性的位置，其演算功能是很顯著的。在此演算法中可以演算出複雜網絡中最高具有多少塊模數，以及將網絡全數塊模間做迴歸分析以判定係數 R^2 (R-squared) 實際數值，R 平方值越高表示模塊間的關聯程度越好。

對於不同的網絡關係，給予一個鄰近的矩陣，或是一組鄰近的矩陣，一個關聯矩陣即能依程序而形成，對於結點 i 所形成剖面側向連結第 i 個橫列欄位上的每個鄰近陣列，關聯矩陣的第 i 個與第 j 個要素屬於 i 與 j 剖面向量的 Pearson 關聯係數，這樣正方對稱矩陣稱為第一關聯矩陣。

此程序可在此關聯矩陣上被反覆執行直至其收斂聚合為止，每次程序進入時就是 1 或 -1，此矩陣例行性地被列切為兩個模塊 (blocks) 相同塊模構件群都是正相關，相異塊模構件群則是負相關。

CONCOR 使用上述技術來裂切最初數據到兩個模塊，連續切開當下適用於分離的模塊，在每一次重複後，全數模塊皆經過分析，然而模塊包含兩個節點不被裂切，結果二元樹的 n -分割能產生出 $2n$ 個模塊。

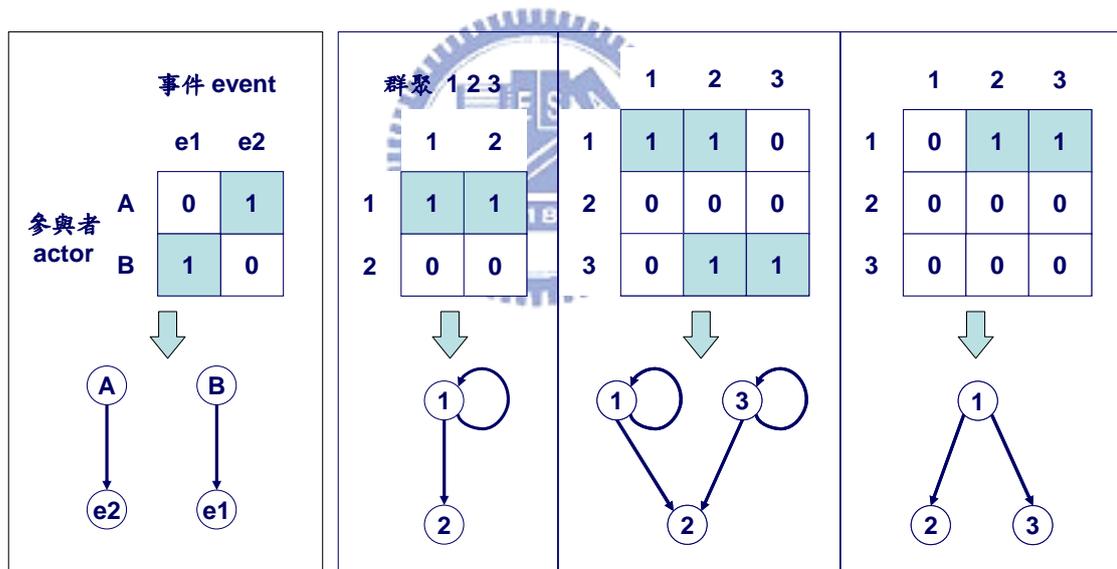


圖 27 簡單塊模型

圖 28 等級式塊模型示意圖

Knocke 與 Kuklinski (1982) 認為進行 CONCOR 程序後所產生是一個具等級式區分的塊模型而形成具有互斥性、離散性和完全屬性等各種結構均勻對等的群集。另參考 Scott (2000) 文獻內容已定義 CONCOR 演算程序後所產生的塊模型，如圖 27 所示的簡單塊模型，A 群與 B 群的參與者分別對應於 e2 與 e1 等兩事件，塊模型中的 0 代表相異模塊 (呈現負相關)，1 則代表相同模塊 (呈現正相關)。

如圖 28 所示分為 1、2 及 3 等三個群聚所構成之關聯矩陣，進行 CONCOR 程序後所產生是一個具等級式塊模型，圖中箭頭代表等級控制關係，譬如在社會網絡成員間的角色位置分析，假設分為三大類別的群聚成員，則圖左即簡單代表群聚 1 群體成員可以自我控制其群聚內部成員，亦可控制群聚 2 群體成員，圖中則是代表群聚 1 與群聚 3 等兩群體成員，兩群聚群體成員除了可以自我控制其群聚內部成員外，亦可共同控制群聚 2 群體成員，圖右則代表群聚 1 群體成員無法自我控制其群聚內部成員，但卻可分別控制群聚 2 及群聚 3 等兩群體成員。因此進行 CONCOR 程序後所產生是一個具等級式塊模型，也顯示出社會網絡成員各群聚間所處角色位置與彼此所屬社會網絡間的控制關係。

3.2.7 冪次定率分析 (Power Law Analysis)

Strogatz (2001)、Albert & Barabási (2002) 以及 Dorogovtsev 與 Mendes (2002) 等多位網絡學者指出真實世界複雜系統下的無尺度網絡，皆會存有「節點連接度呈冪次定律分佈」的網絡特徵，因此無尺度網路連結分佈遵循的是冪次定律。

冪次定律分析在本研究是指網絡節點數目與其連接數目取對數後具有線性關係之特徵（如圖 29 所示），冪次定律符合以下公式[3]，其中a為係數，b為指數，此等式中的指數為冪次定律中的關鍵數值，主要是用來解釋其分佈如何以變量函數的方式來作改變。決定冪次法則最簡單的方式是把節點個數的對數和其連接個數發生機率的對數以二維平面座標來表示。冪次定律所繪製出來的圖都會呈一直線，如圖中直線的斜率即為其指數，而指數愈小代表分配愈不平均，驗證冪次定率公式如公式[4]，b值（負斜率）即代表符合冪次定律。

$$P(x) = ax^{-b} \quad \text{公式[3]}$$

$$\log(P(x)) = \log(a) - b \log(x) \quad \text{公式[4]}$$

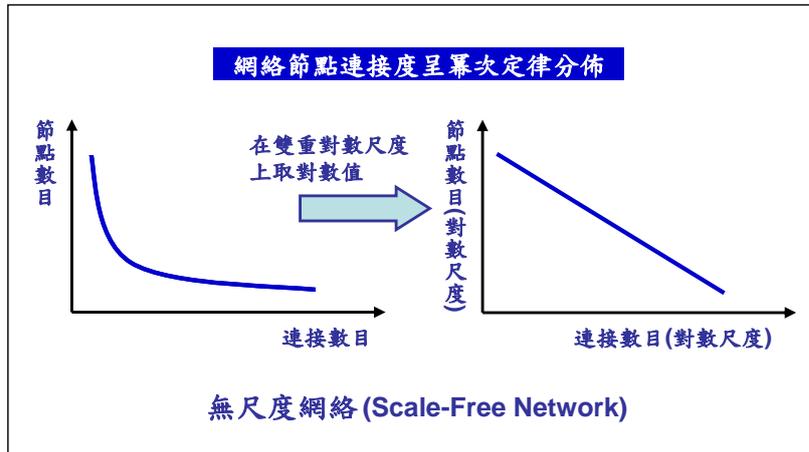


圖 29 無尺度網絡特徵—節點連接度呈冪次定律分佈

3.2.8 社群重疊結構圖形分析 (Networks Graph Analysis)

本研究將運用「研究性質與研究領域」、「主管機關與執行機構」及「計畫主持人與參與研究成員」等三個層面之社群重疊結構，建立出本研究設計「台灣科技合作研究社群自我網絡結構重疊模體三維模型」架構。在 UCINET 操作介面裡，將 GRB 系統內各年度別的網路關係數據資料以水平為列 (row) 與垂直為行 (column) 所定義矩陣形式鍵入空白工作表格，儲存年度相關矩陣內網路關係數據後，即可運用 NetDraw 將相關年度別的網路關係數據予以圖形化。

NetDraw 可將整體網絡或自我網絡內的全數節點以不同顏色標定並訂定名稱，並可選擇將原有網路關係數據的方向性及連接線上所鍵入的賦權值予以隱含或顯出，便利網路分析學者進行不同圖形三維結構特性的視覺觀察，再將分析後整體網絡或自我網絡相關圖形輸出，即可以直觀三維空間視覺模式對整體複雜網絡結構或自我網絡結構上之任一節點以滑鼠左鍵點選、按住來做任意的拖曳動作，藉以清晰地觀察整體網絡或自我網絡等結構上的圖形化關聯性，運用 NetDraw 可將每個節點為中心的自我網絡獨立顯現於整體網絡結構外的優異圖形視覺化功能，而可以仔細探勘出節點與節點動態連結的關係，如呈現本研究模型設計所衍生自我網絡結構重疊模體子圖形。

3.3 數值衡量與操作定義

本研究實驗設計之網絡特性分析相關數值衡量與操作定義，如下表 3 所示。表 3 中類別分為內聚力分析、小團體分析、自我網絡分析 (ego)、中心性分析、角色位置分析 (CONCOR) 與冪次定率分析 (power law) 等六個分析類別，共細分為 16 個數值衡量指標，並解釋其性質與範圍，以及其操作定義。

表 3 本研究實驗設計之網絡特性分析相關數值衡量與操作定義彙整表

類別	數值衡量指標	數值性質與範圍	操作定義
內聚力分析	密度	比值 / 0 ~ 1 >1 表示有結構重疊	$\frac{\text{實際已連結總數}}{\text{可能被連結總數}}$
	群聚係數 C_i / C	比值 / $0 \leq C \leq 1$ >1 表示有結構重疊	$C_i = \frac{2 \times e_i}{k_i \times (k_i - 1)}$ $C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$ 值越大表示節點間 / 平均關連性越大
	傳遞性	三倍體個數 百分比值 / %	計算出網絡內三倍體個數； 三倍體個數在網絡內之傳遞性(百分比)。
	網絡連結路徑	測量線平均距離 測量線平均距離頻率	本研究設計的測量線平均距離=1； 測量線平均距離頻率=所有連接線的總數。
小團體分析	派系分析	派系個數、層級式群聚樹狀圖與其重疊矩陣。	派系個數計算；層級式群聚樹狀圖可供派系分析與其重疊矩陣可檢視派系間重疊關係。
	N-派系分析	派系個數、層級式群聚樹狀圖與其重疊矩陣。	派系個數計算；層級式群聚樹狀圖可供派系分析與其重疊矩陣可檢視派系間重疊關係。
	N-宗派分析	宗派個數、層級式群聚樹狀圖與其重疊矩陣。	宗派個數計算；層級式群聚樹狀圖可供宗派分析與其重疊矩陣可檢視宗派間重疊關係。
	K-叢派分析	叢派個數、層級式群聚樹狀圖與其重疊矩陣。	叢派個數計算；層級式群聚樹狀圖可供叢派分析與其重疊矩陣可檢視叢派間重疊關係。
ego	自我網絡密度	密度為百分比值 / % 個數及總數	個別自我網絡規模(節點數)、連結線總數、節點成對總數及個別自我網絡密度。
中心性分析	程度中心性	百分比值 / % 個別網絡中心性	程度中心性及其標準化數值、敘述性統計數值及網絡中心化程度(%)。
	接近中心性	數值	接近中心性及其標準化數值及敘述性統計數值 個別網絡之遠質與接近值。
	中介中心性	百分比(%)指數 / 數值	網絡中心化指數(%)及其標準化數值及統計數值 個別網絡之中心性及其標準化數值。
	複合式中心性	數值	程度中心性、接近中心性、中介中心性及特徵 向量中心性等標準化數值及敘述性統計數值。
	群體中心性	百分比值 / %	代表節點之設定數目反覆測量可到達的關聯節 點數，可得群體中心性百分比值。
CONCOR	角色位置分析 CONCOR	模塊矩陣 / R平方比值	模塊矩陣內有個別模塊密度及R平方數值，R平 方值越高表示模塊間的關聯程度越好。
power law	冪次定律	負斜率 / b 值	$P(x) = ax^{-b}$ $\log(P(x)) = \log(a) - b \log(x)$ b 值具負斜率即 符合冪次定律

3.4 實證分析流程

本研究實驗分析流程，如下圖 30 所示。首先確立模型設計，再則進行網絡數據收集（GRB 系統資料集），將網絡數據做樣本敘述統計分析，輸入網絡數據至空白工作表矩陣內，依各年度別建立完整網絡分析數據，分別以 UCINET 與 NetDraw 進行網絡特性與圖形化等相關分析，將所有經由實證分析流程後之研究結果予以彙整，撰寫出本研究結論與建議。

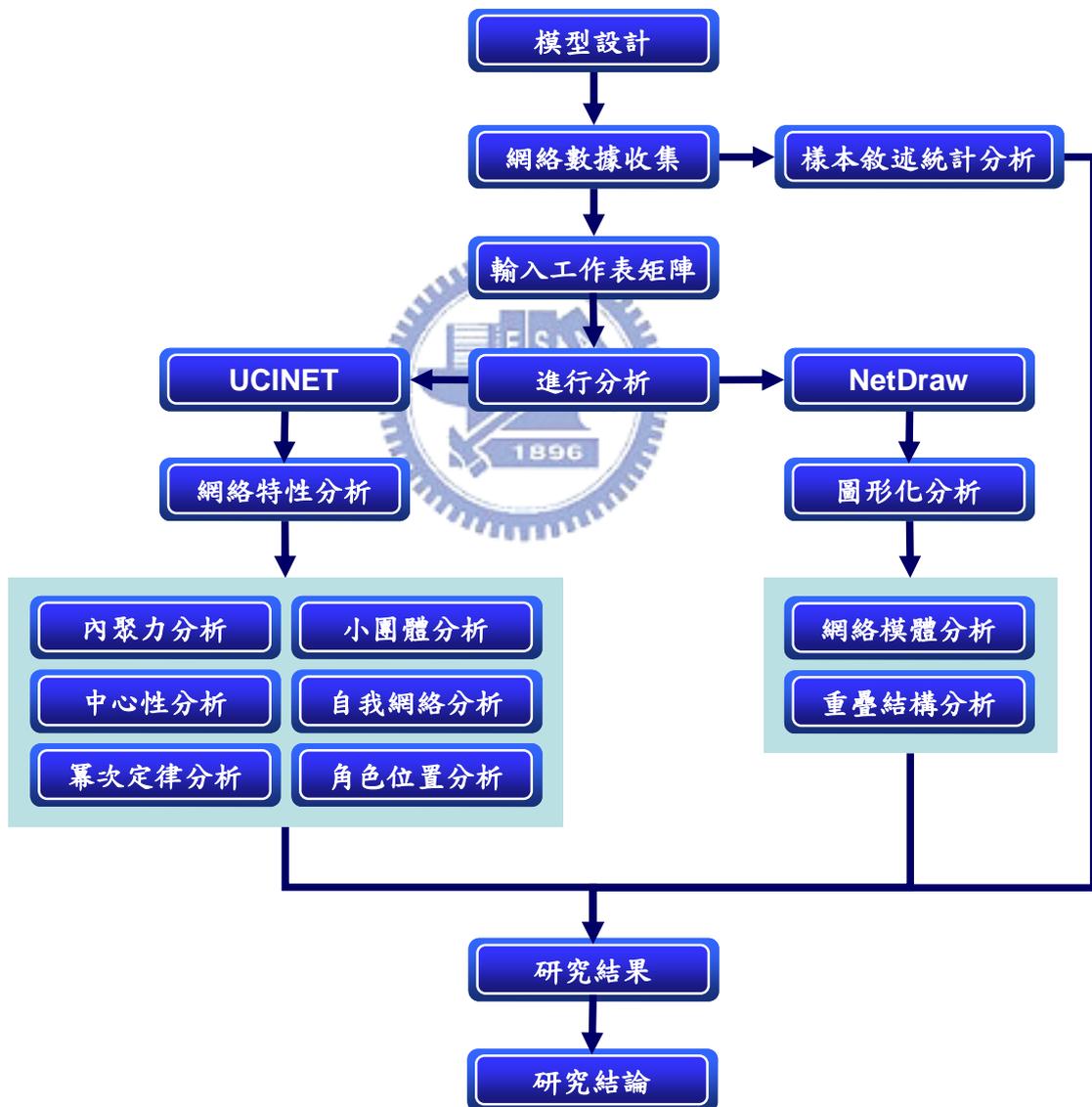


圖 30 本研究實證分析流程圖

第四章 實驗分析與研究結果

4.1 網絡數據描述統計分析

本研究依據台灣國家科學委員會網站中所附屬的「政府研究資訊系統—GRB」資料集查詢顯示後之 94、95 與 96 等各年度網絡數據進行資料描述統計分析比較。詳細分析項目分別為各年度之「個別科專參與成員數」、「個別科專研究領域選定數」、「個別科專研究性質類別」、「個別科專研究期間月數」及「個別科專研究經費(萬元)」等描述統計分析內容。相關研究變項的操作型定義與本研究針對 94、95 與 96 等各年度網絡數據描述統計分析內容與相關表列如下：

4.1.1 研究變項的操作型定義

本研究所探討GRB資料庫內網絡數據中，研究方式為「合作研究」相關個別科專計畫描述統計變項操作型定義分述如下：

1. 個別科專參與成員數：

依個別科專實際參與成員，將原始資料分為11個等級，1 個參與成員為「1」，2 個參與成員為「2」，3 個參與成員為「3」，4 個參與成員為「4」，5 個參與成員為「5」，6 個參與成員為「6」，7 個參與成員為「7」，8 個參與成員為「8」，9 個參與成員為「9」，10 個參與成員為「10」，15 個參與成員為「11」。

2. 個別科專研究領域選定數：

依個別科專實際選定相關研究領域數目，將原始資料分為 6 個等級，分別是 1 個研究領域為「1」，2 個研究領域為「2」，3 個研究領域為「3」，4 個研究領域為「4」，5 個研究領域為「5」，6 個研究領域為「6」。

3. 個別科專研究性質類別：

依個別科專實際選定相關研究性質類別，將原始資料分為 5 個等級，分別是基礎研究為「1」，應用研究為「2」，技術發展為「3」，商品化為「4」，其他為「5」。

4. 個別科專研究期間月數：

依個別科專實際研究期間月數，將原始資料分為 12 個等級，分別是 1 個月為「1」，2 個月為「2」，3 個月為「3」，4 個月為「4」，5 個月為「5」，6 個月為「6」，7 個月為「7」，8 個月為「8」，9 個月為「9」，10 個月為「10」，11 個月為「11」，12 個月為「12」。

5. 個別科專研究經費(萬元)：

依個別科專實際研究經費(萬元)，將原始資料分為 10 個等級，分別是 50 萬以下為「1」，50 萬(含)－100 萬以下為「2」，100 萬(含)－150 萬以下為「3」，150 萬(含)－200 萬以下為「4」，200 萬(含)－250 萬以下為「5」，250 萬(含)－300 萬以下為「6」，300 萬(含)－350 萬以下為「7」，350 萬(含)－400 萬以下為「8」，400 萬(含)－500 萬以下為「9」，500 萬以上為「10」。

4.1.1 GRB 合作研究 94 年度網絡數據描述統計分析

1. 94 年度網絡數據描述統計分析總表

如表 4 所顯示，可得知 94 年度 GRB 以「合作研究」為研究方式的科技計畫數目總計為 106 個，同時該年度全數真實資料 (real data) 未出現任何失誤個數 (missing)。

表 4 94年度網絡數據描述統計分析總表

		94年度個別科專參與成員數	94年度個別科專研究領域選定數	94年度個別科專研究性質類別	94年度個別科專研究期間月數	94年度個別科專研究經費(萬元)
N	Valid	106	106	106	106	106
	Missing	0	0	0	0	0

2. 94 年度個別科專參與成員數

如表 5 所顯示，可得知 94 年度合作研究個別科專中，有 46.2% 的個別科專其參與成員數為 1 個參與者，有 32.1% 的個別科專其參與成員數為 2 個參與者，有 16.0% 的個別科專其參與成員數為 3 個參與者，因此，個別科專其參與成員數為 1 至 3 個參與者，即佔總科專數目的 94.3%，而個別科專其最多參與成員數為 9（個）。

表 5 94年度個別科專參與成員數

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1 個參與成員	49	46.2	46.2	46.2
	2 個參與成員	34	32.1	32.1	78.3
	3 個參與成員	17	16.0	16.0	94.3
	4 個參與成員	5	4.7	4.7	99.1
	9 個參與成員	1	.9	.9	100.0
	Total	106	100.0	100.0	

3. 94 年度個別科專研究領域選定數

如表 6 所顯示，可得知 94 年度合作研究個別科專中，有 71.7% 的個別科專其研究領域選定數為 1 個研究領域，有 24.5% 的個別科專其研究領域選定數為 2 個研究領域，有 2.8% 的個別科專其研究領域選定數為 3 個研究領域，因此，個別科專其研究領域選定數為 1 至 3 個研究領域，即佔總科專數目的 99.1%，而個別科專其最多研究領域選定數為 4（個）。

表 6 94年度個別科專研究領域選定數

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 1 個研究領域	76	71.7	71.7	71.7
2 個研究領域	26	24.5	24.5	96.2
3 個研究領域	3	2.8	2.8	99.1
4 個研究領域	1	.9	.9	100.0
Total	106	100.0	100.0	

4. 94 年度個別科專研究性質類別

如表 7 所顯示，可得知 94 年度合作研究個別科專中，主要有 73.6% 的個別科專其研究性質類別為應用研究，其次有 18.9% 的個別科專其研究性質類別為技術發展，另有 3.8% 的個別科專其研究性質類別為商品化，個別科專其研究性質類別為基礎研究與其他等皆為 1.9%。



表 7 94年度個別科專研究性質類別

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 基礎研究	2	1.9	1.9	1.9
應用研究	78	73.6	73.6	75.5
技術發展	20	18.9	18.9	94.3
商品化	4	3.8	3.8	98.1
其他	2	1.9	1.9	100.0
Total	106	100.0	100.0	

5. 94 年度個別科專研究期間月數

如表 8 所顯示，可得知 94 年度合作研究個別科專中，主要有 77.4% 的個別科專其研究期間月數為 12 個月，其次有 8.5% 的個別科專其研究期間月數為 11 個月，另有 4.7% 的個別科專其研究期間月數為 9 個月以及 3.8% 的個別科專其研究期間月數為 8 個月，其餘個別科專其他研究期間月數所佔百分比皆小於 2%。

表 8 94年度個別科專研究期間月數

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 2 個月	1	.9	.9	.9
4 個月	1	.9	.9	1.9
6 個月	1	.9	.9	2.8
7 個月	1	.9	.9	3.8
8 個月	4	3.8	3.8	7.5
9 個月	5	4.7	4.7	12.3
10 個月	2	1.9	1.9	14.2
11 個月	9	8.5	8.5	22.6
12 個月	82	77.4	77.4	100.0
Total	106	100.0	100.0	

6. 94年度個別科專研究經費(萬元)

如表 9 所顯示，可得知 94 年度合作研究個別科專中，個別科專其實際研究經費為「50 萬(含)－100 萬以下」與個別科專其實際研究經費為「100 萬(含)－150 萬以下」等皆為 27.4%，次有 15.1% 的個別科專其實際研究經費為「150 萬(含)－200 萬以下」，另有 8.5% 的個別科專其實際研究經費為「200 萬(含)－250 萬以下」，較特別的是個別科專其實際研究經費為「500 萬以上」在該年度竟佔有 10.4%，其他個別科專其實際研究經費類別皆小於 3%。

表 9 94年度個別科專研究經費(萬元)

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 50萬以下	3	2.8	2.8	2.8
50 萬(含)－100 萬以下	29	27.4	27.4	30.2
100 萬(含)－150 萬以下	29	27.4	27.4	57.5
150 萬(含)－200 萬以下	16	15.1	15.1	72.6
200 萬(含)－250 萬以下	9	8.5	8.5	81.1
250 萬(含)－300 萬以下	3	2.8	2.8	84.0
300 萬(含)－350 萬以下	2	1.9	1.9	85.8
350 萬(含)－400 萬以下	2	1.9	1.9	87.7
400 萬(含)－450 萬以下	2	1.9	1.9	89.6
500 萬以上	11	10.4	10.4	100.0
Total	106	100.0	100.0	

4.1.2 GRB 合作研究 95 年度網絡數據描述統計分析

1. 95 年度網絡數據描述統計分析總表

如表 10 所顯示，可得知 95 年度 GRB 以「合作研究」為研究方式的科技計畫數目總計為 150 個，同時該年度全數真實資料（real data）未出現任何失誤個數（missing）。

表 10 95 年度網絡數據描述統計分析總表

	95 年度個別科專參與成員數	95 年度個別科專研究領域選定數	95 年度個別科專研究性質類別	95 年度個別科專研究期間月數	95 年度個別科專研究經費(萬元)
N Valid	150	150	150	150	150
Missing	0	0	0	0	0

2. 95 年度個別科專參與成員數

如表 11 所顯示，可得知 95 年度合作研究個別科專中，有 51.3% 的個別科專其參與成員數為 1 個參與者，有 30.7% 的個別科專其參與成員數為 2 個參與者，有 8.0% 的個別科專其參與成員數為 3 個參與者，因此，個別科專其參與成員數為 1 至 3 個參與者，即佔總科專數目的 90.0%，而個別科專其最多參與成員數為 15（個）。

表 11 95 年度個別科專參與成員數

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 1 個參與成員	77	51.3	51.3	51.3
2 個參與成員	46	30.7	30.7	82.0
3 個參與成員	12	8.0	8.0	90.0
4 個參與成員	6	4.0	4.0	94.0
5 個參與成員	1	.7	.7	94.7
6 個參與成員	3	2.0	2.0	96.7
8 個參與成員	3	2.0	2.0	98.7
10 個參與成員	1	.7	.7	99.3
15 個參與成員	1	.7	.7	100.0
Total	150	100.0	100.0	

3. 95 年度個別科專研究領域選定數

如表 12 所顯示，可得知 95 年度合作研究個別科專中，有 72.0% 的個別科專其研究領域選定數為 1 個研究領域，有 18.7% 的個別科專其研究領域選定數為 2 個研究領域，有 6.0% 的個別科專其研究領域選定數為 3 個研究領域，因此，個別科專其研究領域選定數為 1 至 3 個研究領域，即佔總科專數目的 96.7%，而個別科專其最多研究領域選定數為 6 (個)。

表 12 95 年度個別科專研究領域選定數

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 1 個研究領域	108	72.0	72.0	72.0
2 個研究領域	28	18.7	18.7	90.7
3 個研究領域	9	6.0	6.0	96.7
4 個研究領域	2	1.3	1.3	98.0
5 個研究領域	2	1.3	1.3	99.3
6 個研究領域	1	.7	.7	100.0
Total	150	100.0	100.0	



4. 95 年度個別科專研究性質類別

如表 13 所顯示，可得知 95 年度合作研究個別科專中，主要有 79.3% 的個別科專其研究性質類別為應用研究，其次有 12.7% 的個別科專其研究性質類別為技術發展，另有 5.3% 的個別科專其研究性質類別為商品化，個別科專其研究性質類別為基礎研究與其他等皆為 1.3%。

表 13 95 年度個別科專研究性質類別

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 基礎研究	2	1.3	1.3	1.3
應用研究	119	79.3	79.3	80.7
技術發展	19	12.7	12.7	93.3
商品化	8	5.3	5.3	98.7
其他	2	1.3	1.3	100.0
Total	150	100.0	100.0	

5. 95 年度個別科專研究期間月數

如表 14 所顯示，可得知 95 年度合作研究個別科專中，主要有 59.3% 的個別科專其研究期間月數為 12 個月，其次有 14.0% 的個別科專其研究期間月數為 9 個月，另有 11.3% 的個別科專其研究期間月數為 10 個月，其餘個別科專其他研究期間月數所佔百分比皆小於 10%。

表 14 95 年度個別科專研究期間月數

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 2 個月	2	1.3	1.3	1.3
4 個月	1	.7	.7	2.0
5 個月	1	.7	.7	2.7
6 個月	1	.7	.7	3.3
8 個月	12	8.0	8.0	11.3
9 個月	21	14.0	14.0	25.3
10 個月	17	11.3	11.3	36.7
11 個月	6	4.0	4.0	40.7
12 個月	89	59.3	59.3	100.0
Total	150	100.0	100.0	



6. 95 年度個別科專研究經費(萬元)

如表 15 所顯示，可得知 95 年度合作研究個別科專中，主要有 32.7% 的個別科專其實際研究經費為「50 萬(含)－100 萬以下」，次有 21.3% 的個別科專其實際研究經費為「100 萬(含)－150 萬以下」，另有 12.7% 的個別科專其實際研究經費為「150 萬(含)－200 萬以下」，較特別的是個別科專其實際研究經費為「500 萬以上」在該年度竟佔有 10.0%，其他個別科專其實際研究經費類別皆小於 10.0%。

表 15 95年度個別科專研究經費(萬元)

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 50萬以下	8	5.3	5.3	5.3
50 萬(含) – 100萬以下	49	32.7	32.7	38.0
100 萬(含) – 150萬以下	32	21.3	21.3	59.3
150 萬(含) – 200萬以下	19	12.7	12.7	72.0
200 萬(含) – 250萬以下	7	4.7	4.7	76.7
250 萬(含) – 300萬以下	5	3.3	3.3	80.0
300 萬(含) – 350萬以下	10	6.7	6.7	86.7
350 萬(含) – 400萬以下	3	2.0	2.0	88.7
450 萬(含) – 500萬以下	2	1.3	1.3	90.0
500萬以上	15	10.0	10.0	100.0
Total	150	100.0	100.0	

4.1.3 GRB 合作研究 96 年度網絡數據描述統計分析

1. 96 年度網絡數據描述統計分析總表

如表 16 所顯示，可得知 96 年度 GRB 以「合作研究」為研究方式的科技計畫數目總計為 121 個，同時該年度全數真實資料 (real data) 未出現任何失誤個數 (missing)。

表 16 96年度網絡數據描述統計分析總表

	96年度個別科專參與成員數	96年度個別科專研究領域選定數	96年度個別科專研究性質類別	96年度個別科專研究期間月數	96年度個別科專研究經費(萬元)
N Valid	121	121	121	121	121
Missing	0	0	0	0	0

2. 96 年度個別科專參與成員數

如表 17 所顯示，可得知 96 年度合作研究個別科專中，有 57.0% 的個別科專其參與成員數為 1 個參與者，有 20.7% 的個別科專其參與成員數為 2 個參與者，有 14.9% 的個別科專其參與成員數為 3 個參與者，因此，個別科專其參與成員數為 1 至 3 個參與者，即佔總科專數目的 92.6 %，而個別科專其最多參與成員數為 10 (個)。

表 17 96年度個別科專參與成員數

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 1 個參與成員	69	57.0	57.0	57.0
2 個參與成員	25	20.7	20.7	77.7
3 個參與成員	18	14.9	14.9	92.6
4 個參與成員	6	5.0	5.0	97.5
5 個參與成員	1	.8	.8	98.3
6 個參與成員	1	.8	.8	99.2
10 個參與成員	1	.8	.8	100.0
Total	121	100.0	100.0	

3. 96 年度個別科專研究領域選定數

如表 18 所顯示，可得知 96 年度合作研究個別科專中，有 85.1% 的個別科專其研究領域選定數為 1 個研究領域，有 9.9% 的個別科專其研究領域選定數為 2 個研究領域，有 2.5% 的個別科專其研究領域選定數為 3 個研究領域，因此，個別科專其研究領域選定數為 1 至 3 個研究領域，即佔總科專數目的 97.5%，而個別科專其最多研究領域選定數為 6 (個)。

表 18 96年度個別科專研究領域選定數

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 1 個研究領域	103	85.1	85.1	85.1
2 個研究領域	12	9.9	9.9	95.0
3 個研究領域	3	2.5	2.5	97.5
4 個研究領域	1	.8	.8	98.3
5 個研究領域	1	.8	.8	99.2
6 個研究領域	1	.8	.8	100.0
Total	121	100.0	100.0	

4. 96 年度個別科專研究性質類別

如表 19 所顯示，可得知 96 年度合作研究個別科專中，主要有 83.5% 的個別科專其研究性質類別為應用研究，其次有 10.7% 的個別科專其研究性質類別為技術發展，另有 5.0% 的個別科專其研究性質類別為商品化，個別科專其研究性質類別為其他為僅 0.8%，該年度個別科專其研究性質類別為基礎研究則全無。

表 19 96年度個別科專研究性質類別

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 應用研究	101	83.5	83.5	83.5
技術發展	13	10.7	10.7	94.2
商品化	6	5.0	5.0	99.2
其他	1	.8	.8	100.0
Total	121	100.0	100.0	

5. 96 年度個別科專研究期間月數

如表 20 所顯示，可得知 96 年度合作研究個別科專中，主要有 76.9% 的個別科專其研究期間月數為 12 個月，其次有 6.6% 的個別科專其研究期間月數為 9 個月，另有個別科專其研究期間月數為 8 個月及 10 個月則皆為 5.8%，其餘個別科專其他研究期間月數所佔百分比皆小於 3%。



表 20 96年度個別科專研究期間月數

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 4 個月	1	.8	.8	.8
5 個月	1	.8	.8	1.7
6 個月	1	.8	.8	2.5
8 個月	7	5.8	5.8	8.3
9 個月	8	6.6	6.6	14.9
10 個月	7	5.8	5.8	20.7
11 個月	3	2.5	2.5	23.1
12 個月	93	76.9	76.9	100.0
Total	121	100.0	100.0	

6. 96年度個別科專研究經費(萬元)

如表 21 所顯示，可得知 96 年度合作研究個別科專中，主要有 31.4% 的個別科專其實際研究經費為「50 萬(含)－100 萬以下」，次有 29.8% 的個別科專其實際研究經費為「100 萬(含)－150 萬以下」，另有 13.2% 的個別科專其實際研究經費為「150 萬(含)－200 萬以下」，另提及個別科專其實際研究經費為「500 萬以上」在該年度則為 3.3%，不如 95 年度的 10.0% 具代表性，其他個別科專其實際研究經費類別皆小於等於 5.0%。

表 21 96年度個別科專研究經費(萬元)

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 50萬以下	12	9.9	9.9	9.9
50 萬(含) – 100萬以下	38	31.4	31.4	41.3
100 萬(含) – 150萬以下	36	29.8	29.8	71.1
150 萬(含) – 200萬以下	16	13.2	13.2	84.3
200 萬(含) – 250萬以下	5	4.1	4.1	88.4
250 萬(含) – 300萬以下	1	.8	.8	89.3
300 萬(含) – 350萬以下	6	5.0	5.0	94.2
350 萬(含) – 400萬以下	2	1.7	1.7	95.9
400 萬(含) – 450萬以下	1	.8	.8	96.7
500萬以上	4	3.3	3.3	100.0
Total	121	100.0	100.0	

4.2 網絡模型實證分析

4.2.1 94 年度合作研究社群整體複雜網絡結構模型實證分析

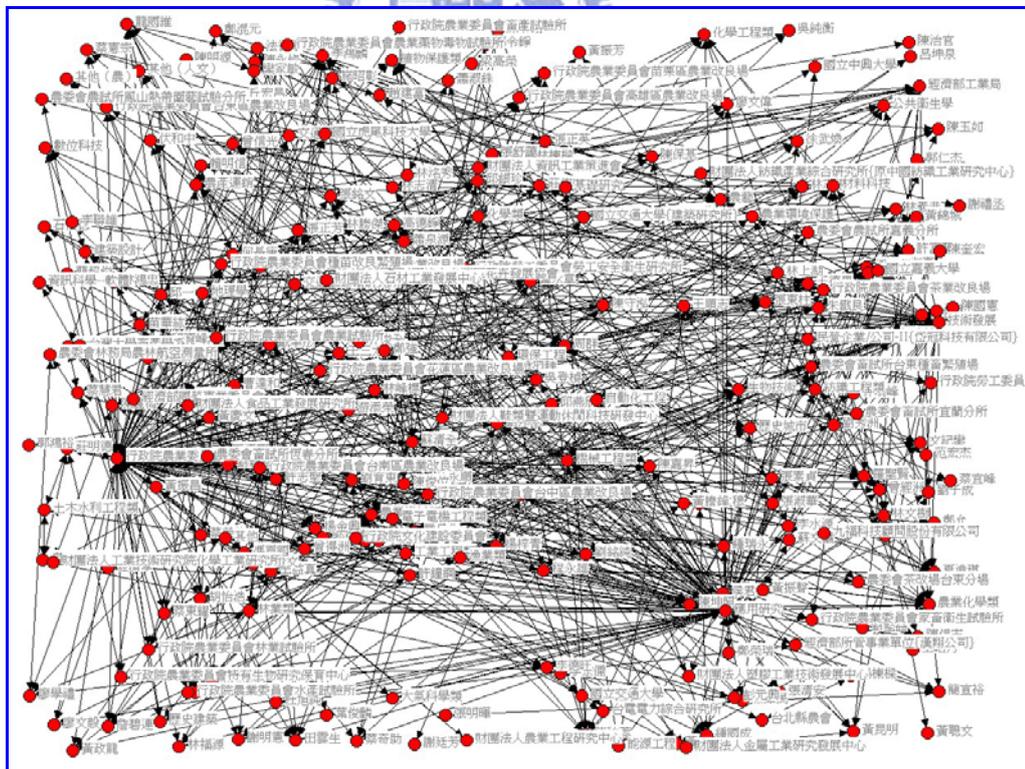


圖 31 94 年度合作研究社群整體複雜網絡結構圖

4.2.3 96 年度合作研究社群整體複雜網絡結構模型實證分析

如圖 33 所顯示，96 年度合作研究社群整體複雜網絡結構模型是由 198 個參與成員，其中有 121 個計劃主持人亦即有 121 個科專計畫，由 5 個研究性質類別（該年度無「基礎研究」此研究性質之合作研究科專），32 個已選定研究領域，7 個主管機關類別，由 77 個執行機構類別，共 319 個節點所組成 319 × 319 網絡數據矩陣，經過 UCINET 網絡分析與 NetDraw 網絡圖形化程序，可探勘出 96 年度合作研究社群整體複雜網絡結構模型。

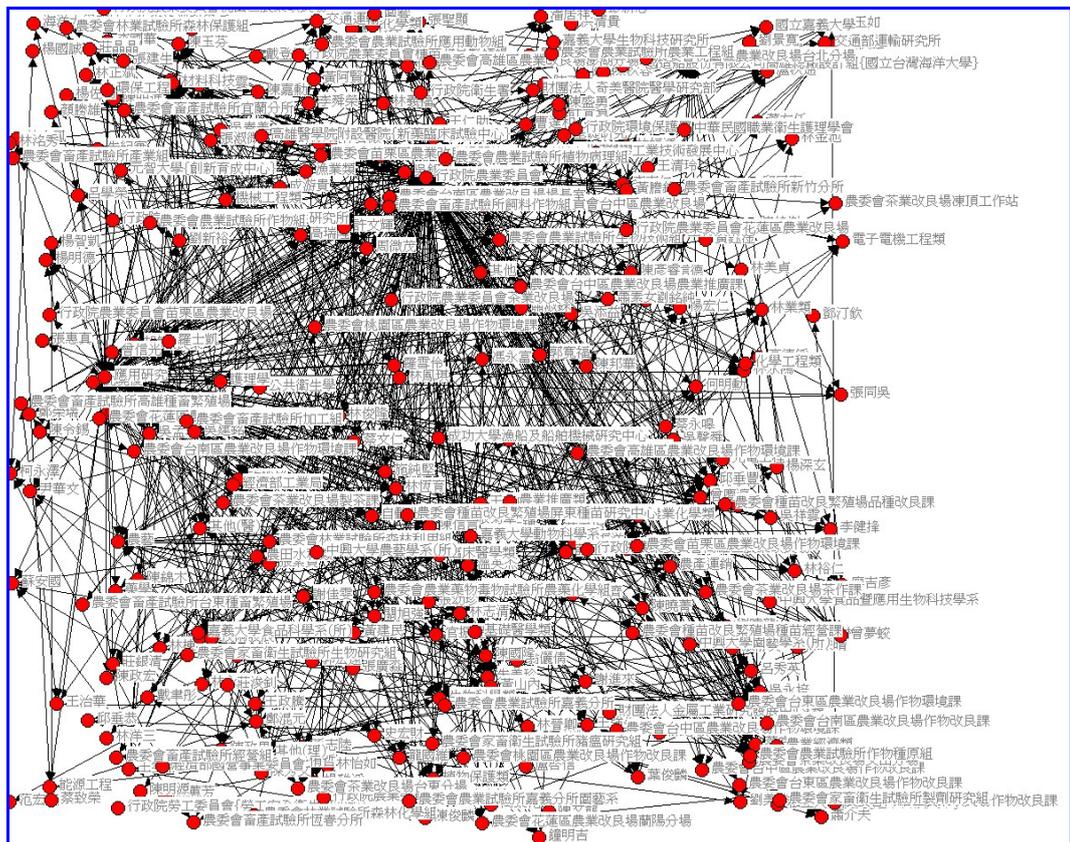


圖 33 96 年度合作研究社群整體複雜網絡結構圖

4.2.4 94 年度合作研究社群研究領域重疊結構模型實證分析

如圖 34 所顯示，可以經由 UCINET 網絡分析與 NetDraw 網絡圖形化程序，可探勘出 95 年度合作研究社群研究領域重疊結構，其中研究領域為「食品科技」多重度為 8、「生物技術」多重度為 6、「畜牧獸醫」多重度為 6、「園藝」多重度為 15、「農藝」多重度為 11、「農業機械類」多重度為 16、「農業化學類」多重度為 14、「材料科技」多重度為 5、「林業類」多重度為 7 以及「植物保護類」多重度為 6，其他研究領域之多重度皆小於為 5；同時可以觀察上述個別研究領域之間，也會有直接連結多重度存在，如在「食品科技」與「畜牧獸醫」之間直接連結多重度為 1，「食品科技」與「園藝」之間直接連結多重度為 1，「食品科技」與「農藝」之間直接連結多重度為 1，「畜牧獸醫」與「生物技術」之間直接連結多重度為 1，「園藝」與「生物技術」之間直接連結多重度為 3，「園藝」與「農業化學類」之間直接連結多重度為 2，「生物技術」與「林業類」之

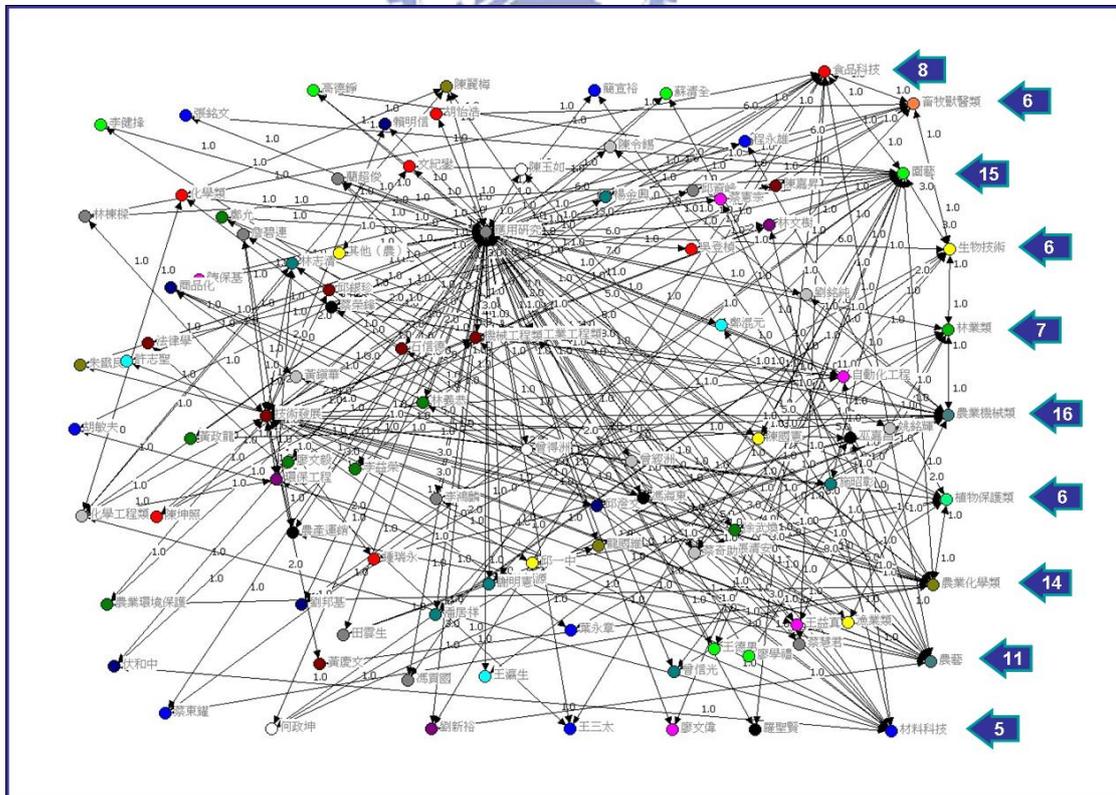


圖 34 94 年度合作研究社群研究領域重疊結構圖

間直接連結多重度為 1，「林業類」與「農業機械類」之間直接連結多重度為 1 以及「植物保護類」與「農業化學類」之間直接連結多重度為 1。

4.2.5 95 年度合作研究社群研究領域重疊結構模型實證分析

如圖 35 所顯示，可以經由 UCINET 網絡分析與 NetDraw 網絡圖形化程序，可探勘出 95 年度合作研究社群研究領域重疊結構，其中研究領域為「食品科技」多重度為 21、「生物技術」多重度為 18、「畜牧獸醫」多重度為 15、「園藝」多重度為 16、「材料科技」多重度為 9、「植物保護類」多重度為 9、「交通運輸」多重度為 13 以及「土木水利工程」多重度為 9，其他研究領域之多重度皆小於為 5；同時可以觀察上述個別研究領域之間，也會有直接連結多重度存在，

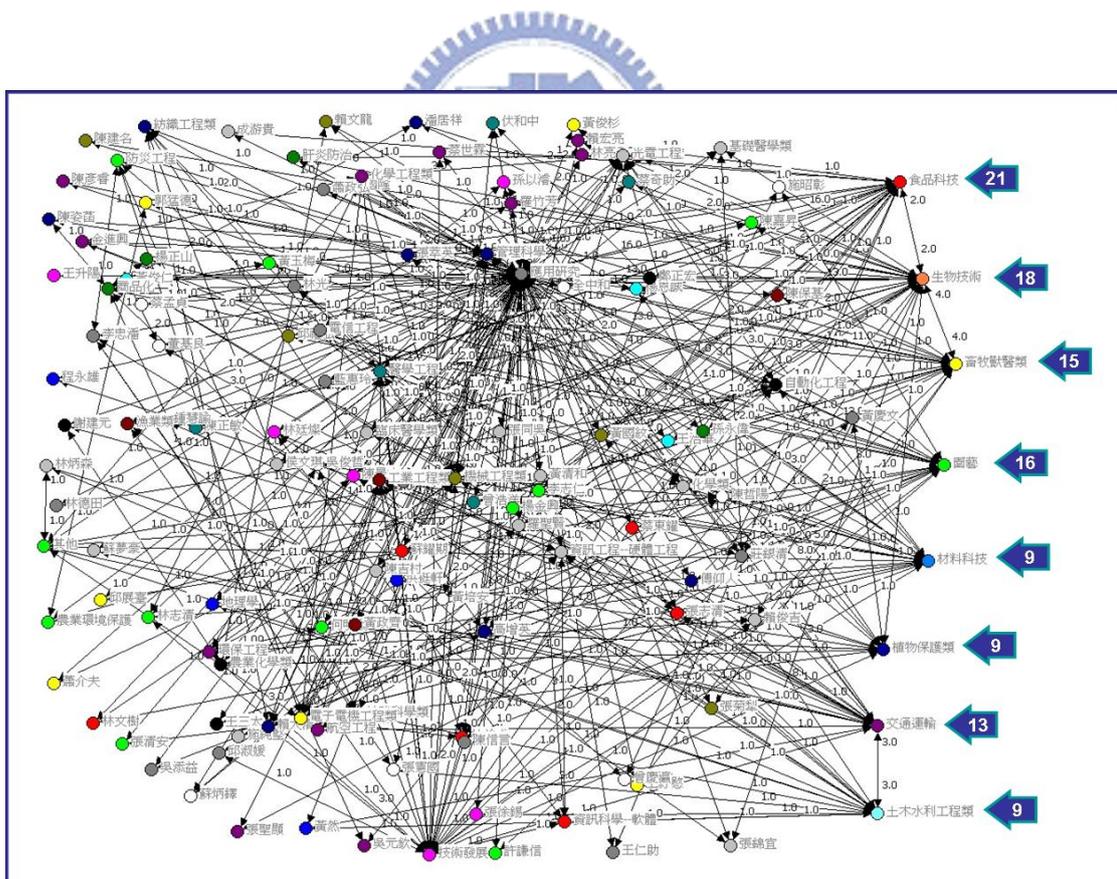


圖 35 95 年度合作研究社群研究領域重疊結構圖

如在「食品科技」與「生物技術」之間直接連結多重度為2，「畜牧獸醫」與「生物技術」之間直接連結多重度為4，「交通運輸」與「土木水利工程」之間直接連結多重度為3以及「生物技術」與「植物保護類」之間直接連結多重度為1。

4.2.6 96 年度合作研究社群研究領域重疊結構模型實證分析

如圖 36 所顯示，可以經由 UCINET 網絡分析與 NetDraw 網絡圖形化程序，可探勘出 95 年度合作研究社群研究領域重疊結構，其中研究領域為「食品科技」多重度為 19、「生物技術」多重度為 5、「畜牧獸醫」多重度為 20、「園藝」多重度為 20、「農藝」多重度為 16、「農業機械類」多重度為 10、「農業化學類」多重度為 9 以及「植物保護類」多重度為 6，其他研究領域之多重度皆小於為 5；同時可以觀察上述個別研究領域之間，也會有直接連結多重度存在，如在

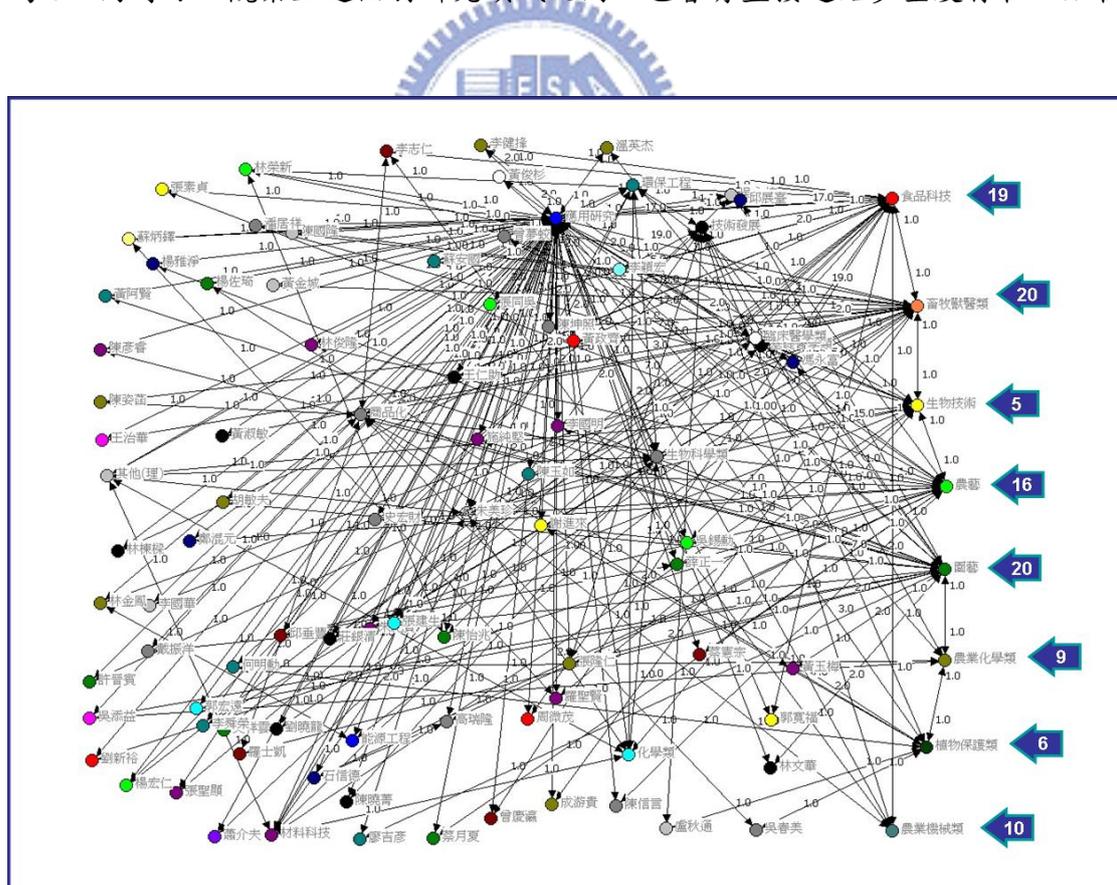


圖 36 96 年度合作研究社群研究領域重疊結構圖

「食品科技」與「畜牧獸醫」之間直接連結多重度為1，「畜牧獸醫」與「生物技術」之間直接連結多重度為1，「生物技術」與「農藝」之間直接連結多重度為1，「園藝」與「農業化學類」之間直接連結多重度為1，「農業化學類」與「植物保護類」之間直接連結多重度為1以及「食品科技」與「農業機械類」之間直接連結多重度為1。

4.3 網絡特性實證分析

依據本研究實驗設計之網絡特性分析相關數值衡量與操作定義，如表3所示，本研究將實際驗證表3所示之內聚力分析、小團體分析、自我網絡分析(ego)、中心性分析、角色位置分析(CONCOR)與冪次定率分析(power law)等六個類別，共細分為16個數值衡量指標，進行94年度、95年度與96年度等三個年度合作研究社群研究網絡特性分析，並解釋其分析後數值內容與意義。



4.3.1 94年度合作研究社群研究網絡特性分析

1. 內聚力分析實證分析結果

如表22所顯示，94年度合作研究社群網絡經由UCINET網絡內聚力分析後可得整體複雜網絡密度為1.2932，其密度大於1，表示網絡具有重疊結構特性；整體群聚係數為1.166（一般正常範圍為 $0 \leq C \leq 1$ ，若 $C > 1$ 時表示有結構重疊），表示具有高群聚性的小世界現象與無尺度網絡等特徵；整體網絡結構間具有2700個三倍體，網絡傳遞性為100%；網絡連結平均路徑設定為1，假設為低間隔度性質，網絡連結路徑總數為68906。

表22 94年度合作研究社群網絡特性分析相關數值衡量結果彙整表

類別	數值衡量指標	94年度 實證分析結果
內聚力分析	密度	Density (matrix average) = 1.2932 Standard deviation = 1.2112
	群聚係數 C_1 / C	Overall graph clustering coefficient: 1.166 Weighted Overall graph clustering coefficient: 0.178
	傳遞性	三倍體 triples : 2700 100 %
	網絡連結路徑	Average distance = 1.000 測量線平均距離頻率 FGD = 68906
小團體分析	派系分析	[1]20 [2]218
	N-派系分析	[1]19 (2-派系) [2]211 (2-派系)
	N-宗派分析	[1]19 (2-宗派) [2]97 (2-宗派)
	K-叢派分析	[1]44 (2-叢派) [2]11142 (2-叢派)
ego	自我網絡密度	[1]度110 [2]成對數164 [3]連結總數11990 [4]1.37%(max:100%)
中心性分析	程度中心性	Network Centralization = 3.94% Heterogeneity = 2.54% Normalized = 2.17%
	接近中心性	Network Centralization = 61.76%
	中介中心性	Network Centralization Index = 46.70%
	複合式中心性	Degree Closeness Betweenness Eigenvector Mean 2.000 25.352 0.773 5.657
	群體中心性	26個代表節點的群體中心性比值為0.506， 群體中心性比率為50.6% [26/170=15.3%]
CONCOR	角色位置分析 CONCOR	模塊矩陣41x41 / R-squared = 0.487
power law	冪次定律	負斜率= -0.6072，符合冪次定律。

2. 小團體分析實證分析結果

如表 22 所顯示，94 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 網絡小團體分析後可得合作研究科專 170 個參與人員可分為 20 個派系、19 個 2-派系 (N-派系)、19 個 2-宗派 (N-宗派) 以及 44 個 2-叢派 (K-叢派)，對於

263 個節點所組成整體複雜網絡而言，可分為 218 個派系、211 個 2-派系 (N-派系)、97 個 2-宗派 (N-宗派) 以及 11142 個 2-叢派 (K-叢派)，對 2-叢派所呈現的數目意義而言，可謂是複雜結構中的最大派系數值。

3. 自我網絡密度分析實證分析結果

如表 22 所顯示，94 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 自我網絡密度分析後可得整體複雜網絡內最大自我網絡即集結節點的度為 110 (即表示有 110 個連結邊線集結在此節點—即[行政院農業委員會]上)，成對數為 164，連結總數為 11990，自我中心網絡密度百分比值為 1.37% (密度數值極低，代表集結節點自我網絡規模越大，其網絡密度相對會越小，其他大部分規模很小的自我網絡，其網絡密度百分比值多為 100%)。

4. 中心性分析實證分析結果

如表 22 所顯示，94 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 中心性分析後可得(1)相關程度中心性分析結果為①整體網絡程度中心化數值為 3.94%、②整體網絡程度中心性異質性數值為 2.54%以及③整體網絡程度中心性標準化數值為 2.17%；(2)接近中心性分析結果為 61.76%；(3)中介中心性分析結果為其網絡中心化指數為 46.70%；(4)複合性中心性分析結果為①程度中心性平均數為 2.000、②接近中心性平均數為 25.352、③中介中心性平均數為 0.773 以及④特徵向量中心性平均數為 5.657；(5)群體中心性分析結果為 26 個代表節點的群體中心性比值為 0.506，其群體中心性比率為 50.6%，所代表的意義是這 26 個代表節點在整體全部節點中佔有過半的關聯能力，表示在該年度由 170 個成員所組成的大派系中，前 34 個成員具有各自的程度中心性，但 26 個成員的群體中心性卻佔有整個派系過半控制力 (即節點關聯能力)，可謂是此一大派系可集權受控制於這前 26 個代表成員所形成的核心小團體 (派系管理階層)，本研

究認為將這前 26 個代表成員暨科專計畫主持人除以該年度總參與成員數 170 個，即等於成為擁有過半控制權力核心小團體的門檻比率 (threshold rate)，其值為 0.153 (15.3%)。

5. 角色位置分析實證分析結果

如表 22 所顯示，94 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 角色位置分析後，藉由該年度矩形陣列網絡數據資料其相關性的 8 次 CONCOR 重覆關聯聚合演算法程序可區分得出 41×41 的最佳模塊矩陣，其 R 平方數值為 0.487，表示原 263×263 網絡數據矩陣可以重新切割成 41×41 的模塊矩陣來進行角色位置關聯性判定，其 R 平方值接近 0.5，即顯示其模塊間的具有一定關聯程度 (模塊度)。

6. 冪次定律實證分析結果

如表 22 所顯示，94 年度合作研究社群網絡經由冪次定律驗證分析即將該年度複雜網絡內節點數目與其連接數目取對數後，再應用冪次定率公式迴歸分析運算後可得直線呈負斜率 $= -0.6072$ ，符合冪次定律，即表示該年度合作研究社群複雜網絡具有無尺度網絡特徵。

4.3.2 95 年度合作研究社群研究網絡特性分析

1. 內聚力分析實證分析結果

如表 23 所顯示，95 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 網絡內聚力分析後可得整體複雜網絡密度為 1.2087，其密度大於 1，表示網絡具有重疊結構特性；整體群聚係數為 1.121 (一般正常範圍為 $0 \leq C \leq 1$ ，若 $C > 1$ 時表示有結構重疊)，表示具有高群聚性的小世界現象與無尺度網絡等特

徵；整體網絡結構間具有 8670 個三倍體，網絡傳遞性為 100%；網絡連結平均路徑設定為 1，假設為低間隔度性質，網絡連結路徑總數為 193160。

表23 95年度合作研究社群網絡特性分析相關數值衡量結果彙整表

類別	數值衡量指標	95年度 實證分析結果
內聚力分析	密度	Density (matrix average) = 1.2087 Standard deviation = 0.9961
	群聚係數 C_i / C	Overall graph clustering coefficient: 1.121 Weighted Overall graph clustering coefficient: 0.180
	傳遞性	三倍體 triples : 8670 100 %
	網絡連結路徑	Average distance = 1.000 測量線平均距離頻率 FGD = 193160
小團體分析	派系分析	[1]25 [2]334
	N-派系分析	[1]24 (2-派系) [2]337 (2-派系)
	N-宗派分析	[1]24 (2-宗派) [2]163 (2-宗派)
	K-叢派分析	[1]30 (2-叢派) [2]27698 (2-叢派)
ego	自我網絡密度	[1]度178 [2] 成對數224 [3] 連結總數31506 [4] 0.71%(max:100%)
中心性分析	程度中心性	Network Centralization = 3.89% Heterogeneity = 1.69% Normalized = 1.47%
	接近中心性	Network Centralization = 60.74%
	中介中心性	Network Centralization Index = 56.80%
	複合式中心性	Degree Closeness Betweenness Eigenvector Mean 1.317 25.027 0.470 4.256
	群體中心性	34個代表節點的群體中心性比值為0.507， 群體中心性比率為50.7% [34/272=12.5%]
CONCOR	角色位置分析 CONCOR	模塊矩陣63x63 / R-squared = 0.571
power law	冪次定律	負斜率 = -0.4770，符合冪次定律。

2. 小團體分析實證分析結果

如表 23 所顯示，95 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 網絡小團體分析後可得合作研究科專 272 個參與人員可分為 25 個派系、24 個 2-派系 (N-派系)、24 個 2-宗派 (N-宗派) 以及 30 個 2-叢派 (K-叢派)，對於 440 個節點所組成整體複雜網絡而言，可分為 334 個派系、337 個 2-派系 (N-派系)、163 個 2-宗派 (N-宗派) 以及 27698 個 2-叢派 (K-叢派)，對 2-叢派所呈現的數目意義而言，可謂是複雜結構中的最大派系數值。

3. 自我網絡密度分析實證分析結果

如表 23 所顯示，95 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 自我網絡密度分析後可得整體複雜網絡內最大自我網絡即集結節點的度為 178 (即表示有 178 個連結邊線集結在此節點—即[行政院農業委員會]上)，成對數為 224，連結總數為 31506，自我中心網絡密度百分比值為 0.71% (密度數值極低，代表集結節點自我網絡規模越大，其網絡密度相對會越小，其他大部分規模很小的自我網絡，其網絡密度百分比值多為 100%)。

4. 中心性分析實證分析結果

如表 23 所顯示，95 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 中心性分析後可得(1)相關程度中心性分析結果為①整體網絡程度中心化數值為 3.89%、②整體網絡程度中心性異質性數值為 1.69%以及③整體網絡程度中心性標準化數值為 1.47%；(2)接近中心性分析結果為 60.74%；(3)中介中心性分析結果為其網絡中心化指數為 56.80%；(4)複合性中心性分析結果為①程度中心性平均數為 1.317、②接近中心性平均數為 25.027、③中介中心性平均數為 0.470 以及④特徵向量中心性平均數為 4.256；(5)群體中心性分析結果為 34 個代表節點的群體中心性比值為 0.507，其群

體中心性比率為 50.7%，所代表的意義是這 34 個代表節點在整體全部節點中佔有過半的關聯能力，表示在該年度由 272 個成員所組成的大派系中，前 34 個成員具有各自的程度中心性，但 34 個成員的群體中心性卻佔有整個派系過半控制力（即節點關聯能力），可謂是此一大派系可集權受控制於這前 34 個代表成員所形成的核心小團體（派系管理階層），本研究認為將這前 34 個代表成員暨科專計畫主持人除以該年度總參與成員數 272 個，即等於成為擁有過半控制權力核心小團體的門檻比率，其值為 0.125（12.5%）。

5. 角色位置分析實證分析結果

如表 23 所顯示，95 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 角色位置分析後，藉由該年度矩形陣列網絡數據資料其相關性的 9 次 CONCOR 重覆關聯聚合演算法程序可區分得出 63×63 的最佳模塊矩陣，其 R 平方數值為 0.571，表示原 440×440 網絡數據矩陣可以重新切割成 63×63 的模塊矩陣來進行角色位置關聯性判定，其 R 平方值高於 0.5 以上即顯示其模塊間的關聯程度（模塊度）顯著。

6. 冪次定律實證分析結果

如表 23 所顯示，95 年度合作研究社群網絡經由冪次定律驗證分析即將該年度複雜網絡內節點數目與其連接數目取對數後，再應用冪次定率公式迴歸分析運算後可得直線呈負斜率 $= -0.4770$ ，符合冪次定律，即表示該年度合作研究社群複雜網絡具有無尺度網絡特徵。

4.3.3 96 年度合作研究社群研究網絡特性分析

1. 內聚力分析實證分析結果

表 24 96 年度合作研究社群網絡特性分析相關數值衡量結果彙整表

類別	數值衡量指標	96年度 實證分析結果
內聚力分析	密度	Density (matrix average) = 1.2181 Standard deviation = 1.2134
	群聚係數 C_i / C	Overall graph clustering coefficient: 1.222 Weighted Overall graph clustering coefficient: 0.133
	傳遞性	三倍體 triples : 3639 100 %
	網絡連結路徑	Average distance = 1.000 測量線平均距離頻率 FGD = 101442
小團體分析	派系分析	[1]26 [2]258
	N-派系分析	[1]23 (2-派系) [2]221 (2-派系)
	N-宗派分析	[1]23 (2-宗派) [2]88 (2-宗派)
	K-叢派分析	[1]40 (2-叢派) [2]19971 (2-叢派)
ego	自我網絡密度	[1]度169 [2]成對數221 [3]連結總數28392 [4]0.78%(max:100%)
中心性分析	程度中心性	Network Centralization = 3.66% Heterogeneity = 2.76% Normalized = 2.46%
	接近中心性	Network Centralization = 68.82%
	中介中心性	Network Centralization Index = 47.07%
	複合式中心性	Degree Closeness Betweenness Eigenvector Mean 1.650 20.880 0.578 5.170
	群體中心性	27個代表節點的群體中心性比值為0.510， 群體中心性比率為51% [27/198=13.6%]
CONCOR	角色位置分析 CONCOR	模塊矩陣42x42 / R-squared = 0.589
power law	冪次定律	負斜率 = -0.1593，符合冪次定律。

如表 24 所顯示，96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 網絡內聚力分析後可得整體複雜網絡密度為 1.2181，其密度大於 1，表示網絡具有重疊結構特性；整體群聚係數為 1.222（一般正常範圍為 $0 \leq C \leq 1$ ，若 $C > 1$ 時表示有結構重疊），表示具有高群聚性的小世界現象與無尺度網絡等特徵；整體網絡結構間具有 3639 個三倍體，網絡傳遞性為 100%；網絡連結平均路徑設定為 1，假設為低間隔度性質，網絡連結路徑總數為 101442。

2. 小團體分析實證分析結果

如表 24 所顯示，96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 網絡小團體分析後可得合作研究科專 198 個參與人員可分為 26 個派系、23 個 2-派系（N-派系）、23 個 2-宗派（N-宗派）以及 40 個 2-叢派（K-叢派），對於 319 個節點所組成整體複雜網絡而言，可分為 258 個派系、221 個 2-派系（N-派系）、88 個 2-宗派（N-宗派）以及 19971 個 2-叢派（K-叢派），對 2-叢派所呈現的數目意義而言，可謂是複雜結構中的最大派系數值。

3. 自我網絡密度分析實證分析結果

如表 24 所顯示，96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 自我網絡密度分析後可得整體複雜網絡內最大自我網絡即集結節點的度為 169（即表示有 169 個連結邊線集結在此節點—即[行政院農業委員會]上），成對數為 221，連結總數為 28392，自我中心網絡密度百分比值為 0.78%（密度數值極低，代表集結節點自我網絡規模越大，其網絡密度相對會越小，其他大部分規模很小的自我網絡，其網絡密度百分比值多為 100%）。

4. 中心性分析實證分析結果

如表 24 所顯示，96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 中心性分析後可得(1)相關程度中心性分析結果為①整體網絡程度中心化數值為 3.66%、②整體網絡程度中心性異質性數值為 2.76%以及③整體網絡程度中心性標準化數值為 2.46%；(2) 接近中心性分析結果為 68.82%；(3) 中介中心性分析結果為其網絡中心化指數為 47.07%；(4) 複合性中心性分析結果為①程度中心性平均數為 1.650、②接近中心性平均數為 20.880、③中介中心性平均數為 0.578 以及④特徵向量中心性平均數為 5.170；(5) 群體中心性分析結果為 27 個代表節點的群體中心性比值為 0.51，其群體中心性比率為 51%，所代表的意義是這 27 個代表節點在整體全部節點中佔有過半的關聯能力，表示在該年度由 198 個成員所組成的大派系中，前 27 個成員具有各自的程度中心性，但 27 個成員的群體中心性卻佔有整個派系過半控制力（即節點關聯能力），可謂是此一大派系可集權受控制於這前 27 個代表成員所形成的核心小團體（派系管理階層），本研究認為將這前 27 個代表成員暨科專計畫主持人除以該年度總參與成員數 198 個，即等於成為擁有過半控制權力核心小團體的門檻比率，其值為 0.136（13.6%）。

5. 角色位置分析實證分析結果

如表 24 所顯示，96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 角色位置分析後，藉由該年度矩形陣列網絡數據資料其相關性的 7 次 CONCOR 重覆關聯聚合演算法程序可區分得出 42×42 的最佳模塊矩陣，其 R 平方數值為 0.589，表示原 319×319 網絡數據矩陣可以重新切割成 42×42 的模塊矩陣來進行角色位置關聯性判定，其 R 平方值高於 0.5 以上即顯示其模塊間的關聯程度（模塊度）顯著。

6. 冪次定律實證分析結果

如表 24 所顯示，96 年度合作研究社群網絡經由冪次定律驗證分析即將該年度複雜網絡內節點數目與其連接數目取對數後，再應用冪次定率公式迴歸分析運算後可得直線呈負斜率 $= -0.1593$ ，符合冪次定律，即表示該年度合作研究社群複雜網絡具有無尺度網絡特徵。

4.3.4 各年度合作研究社群研究網絡特性分析

1. 內聚力分析實證分析結果各年度比較

如表 25 所顯示，94、95 與 96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 網絡內聚力分析後可得整體複雜網絡密度分別為 1.2932、1.2087 與 1.2181，以 94 年度之密度最高，然 94、95 與 96 年度合作研究社群網絡規模以 95 年度網絡規模最大，96 年度網絡規模次之，94 年度網絡規模最小，卻顯示出網絡規模越大反而密度越小，此結果與無尺度網絡「集結節點」特徵有關，由於極多數連結集中於集結節點，如「行政院農委會」及「應用研究」等集結節點，網絡間多數自我中心節點子圖形多藉由集結節點進行關係連結，導致網絡規模越大反而網絡密度變小即呈現反比現象，相較於隨機網絡而言，在隨機網絡中，才會有網絡規模越大而網絡密度變大的正比現象；各年度密度均大於 1，表示各年度網絡皆具有重疊結構特性，皆具有高群聚性的小世界現象與無尺度網絡等特徵；整體網絡結構間分別具有 2700、8670 個與 3639 個之三倍體，以 95 年度之密度最高，各年度網絡傳遞性皆為 100%；各年度網絡連結平均路徑均設定為 1，假設為低間隔度性質，各年度網絡連結路徑總數分別為 68906、193160 與 101442，以 95 年度之網絡連結路徑總數為最高。

2. 小團體分析實證分析結果各年度比較

如表 25 所顯示，94、95 與 96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 網絡小團體分析後其合作研究科專分別可分為 20 個派系(170 個參與人員)、25 個派系(272 個參與人員)、26 個派系(198 個參與人員)，其中將派系數目除以參與人員數目乘以百分比，則分別為 11.76%、9.19% 與 13.13%，表示 96 年度網絡內派系成分百分比最高；同理將各年度 2-派系 (N-派系) 成分百分比與 2-宗派 (N-宗派) 成分百分比等分別進行演算皆得 11.18%、8.82% 與 11.62% (兩個成分百分比數值皆相同)，表示 96 年度網絡內 2-派系 (N-派系) 成分百分比與 2-宗派 (N-宗派) 成分百分比等皆為最高；同理將各年度 2-叢派 (K-叢派) 成分百分比進行演算得 25.88%、11.03% 與 20.20%，表示 94 年度網絡內 2-叢派 (K-叢派) 成分百分比最高；94、95 與 96 年度合作研究社群整體網絡規模則分別為 263 個節點、440 個節點、319 個節點，整體網絡所呈現之 2-叢派 (K-叢派) 值分別為 11142 個、27698 個與 19971 個 2-叢派 (K-叢派)，對 2-叢派所呈現的數目意義而言，可謂是複雜結構中的最大派系數值，是故 95 年度合作研究社群整體網絡所呈現之 2-叢派 (K-叢派) 值為最大，表示 95 年度實際或可能產生的最大派系數目最多。

3. 自我網絡密度分析實證分析結果各年度比較

如表 25 所顯示，94、95 與 96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 自我網絡密度分析後可得整體複雜網絡內最大自我網絡即集結節點的度值分別為 110、178 與 169 (且各年度分別有 110、178 與 169 個連結邊緣集結在同一節點—即[行政院農業委員會]上)，各年度自我中心網絡密度百分比值分別為 1.37%、0.71% 與 0.78% (密度數值極低，代表集結節點自我網絡規模越大，其網絡密度相對會越小，其他大部分規模很小的自我

網絡，其各年度網絡密度百分比值多為 100%)，顯示[行政院農業委員會]皆為各年度最重要之集結節點，表示調控行政院農業委員會即可以影響整體網絡結構連結相關程度，意即國科會若將「合作研究」此研究方式下所申請執行之科專經費予以減縮限制或擴大賦權，則以行政院農業委員會為主管機關而受監督之執行機構所賦得之執行力及計劃主持人可獲得之實質研究經費會因此而受影響。

4. 中心性分析實證分析結果各年度比較

如表 25 所顯示，94、95 與 96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 中心性分析後可得 (1) 各年度相關程度中心性分析結果為①整體網絡程度中心化數值分別為 3.94%、3.89%與 3.66%，以 94 年度之整體網絡程度中心化數值為最高；②整體網絡程度中心性異質性數值分別為 2.54%、1.69%與 2.76%，以 96 年度之整體網絡程度中心性異質性數值為最高；③整體網絡程度中心性標準化數值分別為 2.17%、1.47%與 2.46%，以 96 年度之整體網絡程度中心性標準化數值為最高；(2) 各年度接近中心性分析結果分別為 61.76%、60.74%與 68.82%，以 96 年度之接近中心性為最高；(3) 各年度中介中心性分析結果即為其網絡中心化指數且分別為 46.70%、56.80%與 47.07%，以 95 年度之中介中心性分析值（網絡中心化指數）為最高；(4) 各年度複合性中心性分析結果為①程度中心性平均數分別為 2.000、1.317 與 1.650，以 94 年度之程度中心性平均數為最高；②接近中心性平均數分別為 25.352、25.027 與 20.880，以 94 年度之接近中心性平均數為最高；③中介中心性平均數分別為 0.773、0.470 與 0.578，以 94 年度之中介中心性平均數為最高；④特徵向量中心性平均數分別為 5.657、4.256 與 5.170，以 94 年度之特徵向量中心性平均數為最高；(5) 各年度群體中心性分析結果分別為 26 個代表節點（170 個

參與成員)的群體中心性比值為 0.506 (群體中心性比率為 50.6%)、34 個代表節點 (272 個參與成員)的群體中心性比值為 0.507 (群體中心性比率為 50.7%)與 27 個代表節點 (198 個參與成員),擁有過半控制權力核心小團體的門檻比率數值分別為 0.153 (15.3%)、0.125 (12.5%)與 0.136 (13.6%),以 94 年度之過半控制權力核心小團體的門檻比率數值為最高、96 年度次之與 95 年度為最低,就此三年度門檻比率數值與整體網絡規模而言,呈現整體網絡規模越大反而門檻比率數值越小之反比現象,就本研究推論「門檻比率」數值越大,表示在整體網絡所需核心小團體(派系管理階層)成員數則需更多,更可以制約整體網絡不被少數代表成員把持過半控制權力,所以當單一年度合作研究網絡規模過大而其門檻比率過小時,就必須調控制約研究資源暨撥發經費以避免集中在少數計畫主持人所申請之合作研究科專計畫而促使更多計畫主持人成為整體網絡內之代表成員且成為核心小團體成員(派系管理階層參與者)。

5. 角色位置分析實證分析結果

如表 25 所顯示,94、95 與 96 年度合作研究社群網絡經由 UCINET 角色位置分析後,得到 R 平方數值分別為 0.487、0.571 與 0.589,經由各年度角色位置關聯性判定,94 年度之 R 平方值接近 0.5,即顯示其模塊間的具有一定關聯程度,95 與 96 年度之 R 平方值高於 0.5 以上即顯示其模塊間的關聯程度(模塊度)顯著。

6. 冪次定律實證分析結果

如表 25 所顯示,94、95 與 96 年度合作研究社群網絡經由冪次定律驗證分析可得迴歸線呈負斜率分別為-0.6072、-0.4770 與-0.1593,皆符合冪次定律,即表示各年度合作研究社群複雜網絡皆有無尺度網絡特徵。

表 25 94、95與96年度合作研究社群網絡特性分析相關數值衡量結果比較彙整表

類別	94年度 實證分析結果	95年度 實證分析結果	96年度 實證分析結果	
內聚力分析	數值衡量指標			
	密度	Density (matrix average) = 1.2932 Standard deviation = 1.2112	Density (matrix average) = 1.2087 Standard deviation = 0.9961	Density (matrix average) = 1.2181 Standard deviation = 1.2134
	群聚係數 C _i / C	Overall graph clustering coefficient: 1.166 Weighted Overall graph clustering coefficient: 0.178	Overall graph clustering coefficient: 1.121 Weighted Overall graph clustering coefficient: 0.180	Overall graph clustering coefficient: 1.222 Weighted Overall graph clustering coefficient: 0.133
	傳遞性	三倍體 triples : 2700 100 %	三倍體 triples : 8670 100 %	三倍體 triples : 3639 100 %
小團體分析	網絡連結路徑	Average distance = 1.000 測量線平均距離頻率 FGD = 68906	Average distance = 1.000 測量線平均距離頻率 FGD = 193160	Average distance = 1.000 測量線平均距離頻率 FGD = 101442
	派系分析	[1]20 [2]218	[1]25 [2]334	[1]26 [2]258
	N-派系分析	[1]19 (2-派系) [2]211 (2-派系)	[1]24 (2-派系) [2]337 (2-派系)	[1]23 (2-派系) [2]221 (2-派系)
	N-宗派分析	[1]19 (2-宗派) [2]97 (2-宗派)	[1]24 (2-宗派) [2]163 (2-宗派)	[1]23 (2-宗派) [2]88 (2-宗派)
ego	K-叢派分析	[1]44 (2-叢派) [2]1142 (2-叢派)	[1]30 (2-叢派) [2]27698 (2-叢派)	[1]40 (2-叢派) [2]19971 (2-叢派)
	自我網絡密度	[1]度110 [2]成對數164 [3] 連結總數11990 [4]1.37%(max:100%)	[1]度178 [2]成對數224 [3] 連結總數31506 [4] 0.71%(max:100%)	[1]度169 [2]成對數221 [3] 連結總數28392 [4]0.78%(max:100%)
	程度中心性	Network Centralization = 3.94 % Heterogeneity = 2.54% Normalized = 2.17%	Network Centralization = 3.89 % Heterogeneity = 1.69% Normalized = 1.47%	Network Centralization = 3.66 % Heterogeneity = 2.76% Normalized = 2.46%
	接近中心性	Network Centralization = 61.76%	Network Centralization = 60.74%	Network Centralization = 68.82%
中心性分析	中介中心性	Network Centralization Index = 46.70%	Network Centralization Index = 56.80%	Network Centralization Index = 47.07%
	複合式中心性	Degree Closeness Betweenness Eigenvector Mean 2.000 25.352 0.773 5.657	Degree Closeness Betweenness Eigenvector Mean 1.317 25.027 0.470 4.256	Degree Closeness Betweenness Eigenvector Mean 1.650 20.880 0.578 5.170
	群體中心性	26個代表節點的群體中心性比值為0.506， 群體中心性比率為50.6% [26/170=15.3%]	34個代表節點的群體中心性比值為0.507， 群體中心性比率為50.7% [34/272=12.5%]	27個代表節點的群體中心性比值為0.510， 群體中心性比率為51% [27/198=13.6%]
	角色置分析 CONCOR	模塊矩陣41x41 / R-squared = 0.487	模塊矩陣63x63 / R-squared = 0.571	模塊矩陣42x42 / R-squared = 0.589
power law	負斜率 = -0.6072，符合冪次定律。	負斜率 = -0.4770，符合冪次定律。	負斜率 = -0.1593，符合冪次定律。	

4.4 網絡圖形化模體分析

本研究所提出「以計畫主持人 (PI) 為重疊社群結構之自我中心節點網絡結構重疊模體 (motif) 三維模型」可建立起個別年度合作研究社群整體複雜網絡結構圖，進而探討以計畫主持人為中心性節點所形成的自我網絡 (Ego network)。

可以經由 UCINET 網絡分析與 NetDraw 網絡圖形化程序，可探勘出 95 年度合作研究社群整體複雜網絡結構圖，再進入 NetDraw 網絡圖形化應用分析軟體中的 ego 圖形化模式，點選個別自我中心節點以顯現出該自我網絡子圖形，在觀察該子圖形內連結邊線上多重度值大於 1 者之兩端節點後，可以多重度最大者優先探勘，點選兩端節點為另一個別自我中心再顯現出該自我網絡子圖形，即可看到原有網絡子圖形與新點選顯現網絡子圖形進行圖形演繹、結合與擴張等動態視覺圖形化呈現，繼續重複上述圖形化程序，即可以展現出更複雜的網絡結構圖形。

如圖 37 所顯示，即先以「蔡宜峰」為自我中心節點，點選該自我中心節點後即顯現出該自我網絡子圖形，且自動連結出「李健鋒」為其合作研究成員，觀察此圖形中，藉由「李健鋒」與「行政院農委會」及「應用研究」等節點有個別的連結邊線與多重度等特徵，可確認得知「李健鋒」必定為另一個別科專計畫的計畫主持人，因此應再行點選「李健鋒」以進行下階段網絡圖形化模體分析。

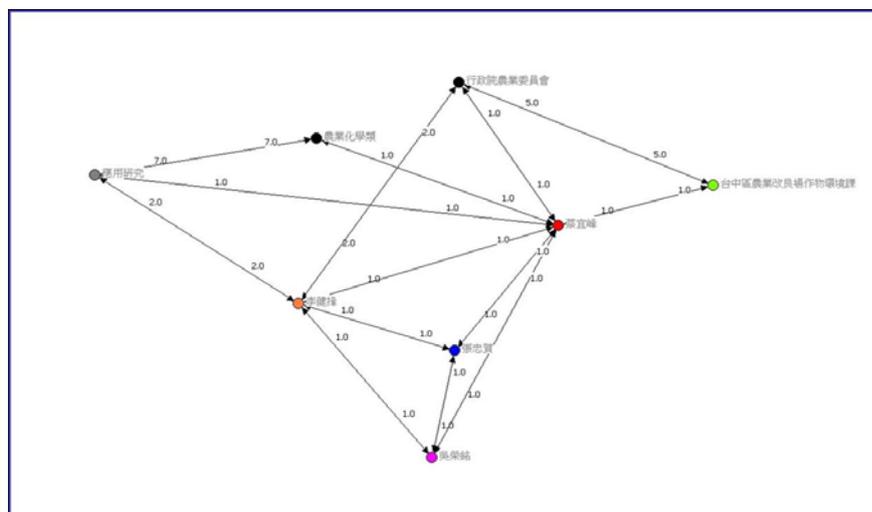


圖 37 合作研究社群自我網絡動態圖形模體分析範例圖(1)

如圖 38 所顯示，再以「李健鋒」為自我中心節點，點選該自我中心節點後即顯現出該自我網絡子圖形，且自動連結出「農藝」與「台中區農業改良場作物改良課」為其選定之科專研究領域與執行機構，觀察此圖形中，藉由「李健鋒」與「農藝」與「台中區農業改良場作物改良課」等節點有個別的連結邊緣與多重度等特徵，尤其是「農藝」與「應用研究」之間連結重疊度值為 12，可知「農藝」亦是值得探討的重要節點，因此應再行點選「台中區農業改良場作物改良課」以進行下階段網絡圖形化模體分析。

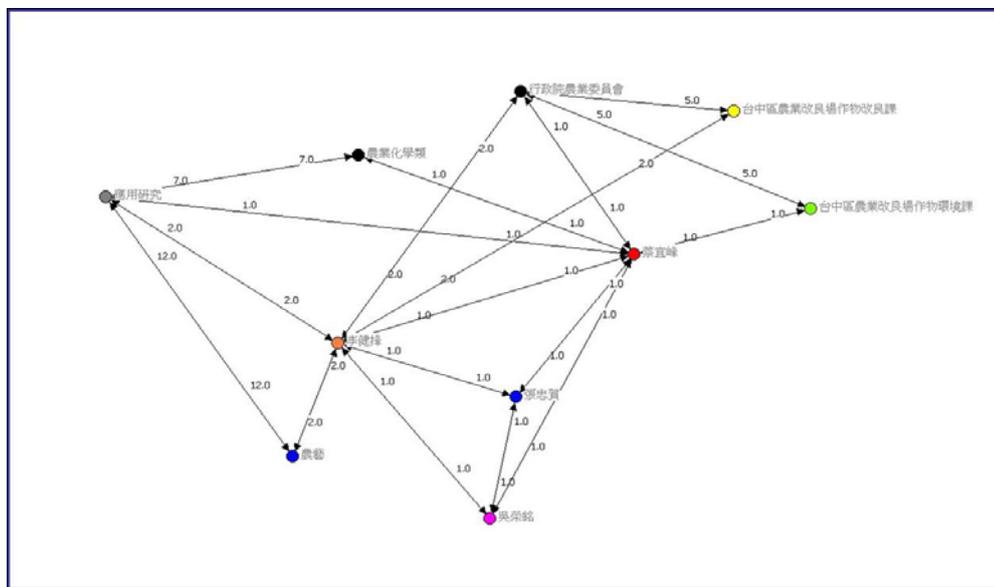


圖 38 合作研究社群自我網絡動態圖形模體分析範例圖(2)

如圖 39 所顯示，再以「台中區農業改良場作物改良課」為自我中心節點，點選該自我中心節點後即顯現出該自我網絡子圖形，且自動連結出「蕭政宏」、「許謙信」與「陳彥瑞」等節點，觀察此圖形中，可判定出「蕭政宏」、「許謙信」與「陳彥瑞」等皆為計畫主持人暨自我中心節點，再行點選「台中區農業改良場作物環境課」以進行下階段網絡圖形化模體分析。

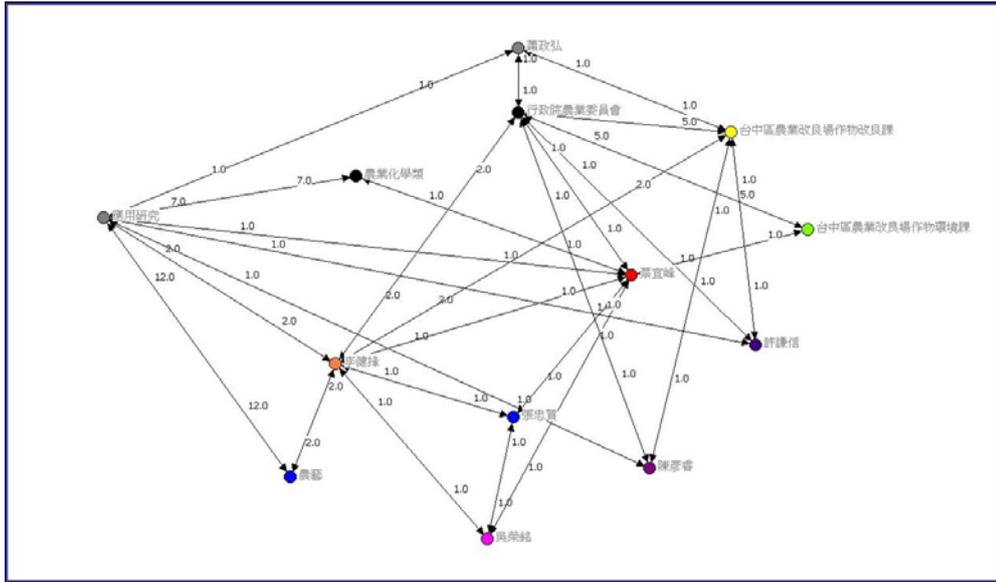


圖 39 合作研究社群自我網絡動態圖形模體分析範例圖(3)

如圖 40 所顯示，再以「台中區農業改良場作物環境課」為自我中心節點，點選該自我中心節點後即顯現出該自我網絡子圖形，且自動連結出「邱禮弘」、「陳令錫」與「龍國維」等節點，觀察此圖形中，可判定出「邱禮弘」、「陳令錫」與「龍國維」等皆為計畫主持人暨自我中心節點，再行點選「農藝」以進行下階段網絡圖形化模體分析。

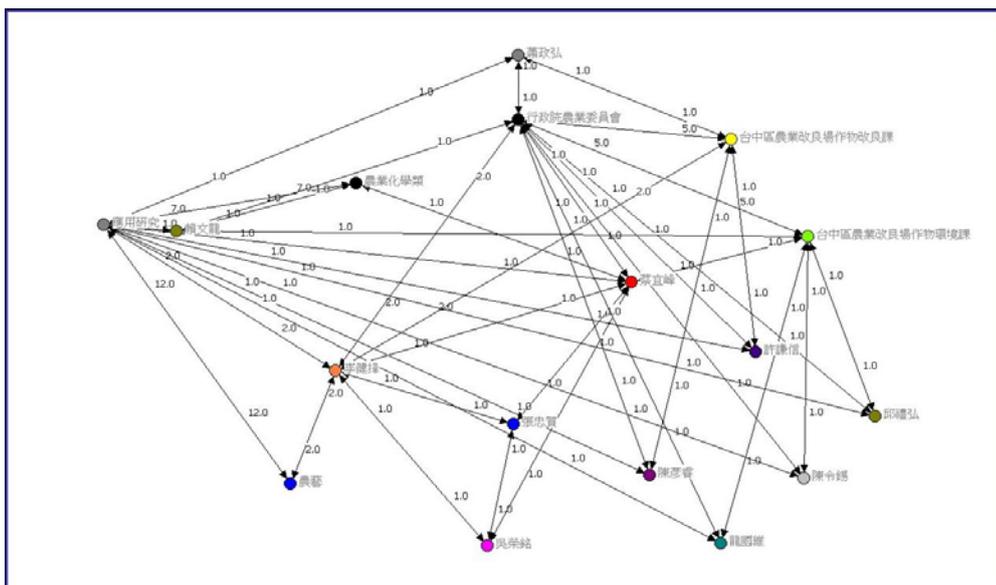


圖 40 合作研究社群自我網絡動態圖形模體分析範例圖(4)

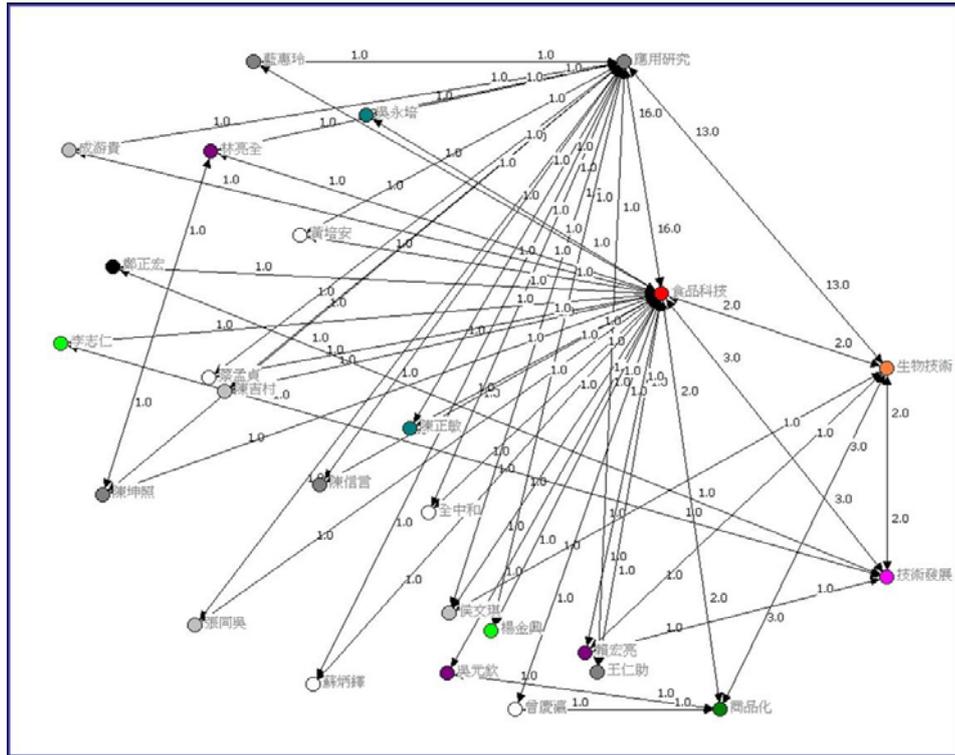


圖 42 95 年度「食品科技」與「生物技術」等研究領域重疊結構圖

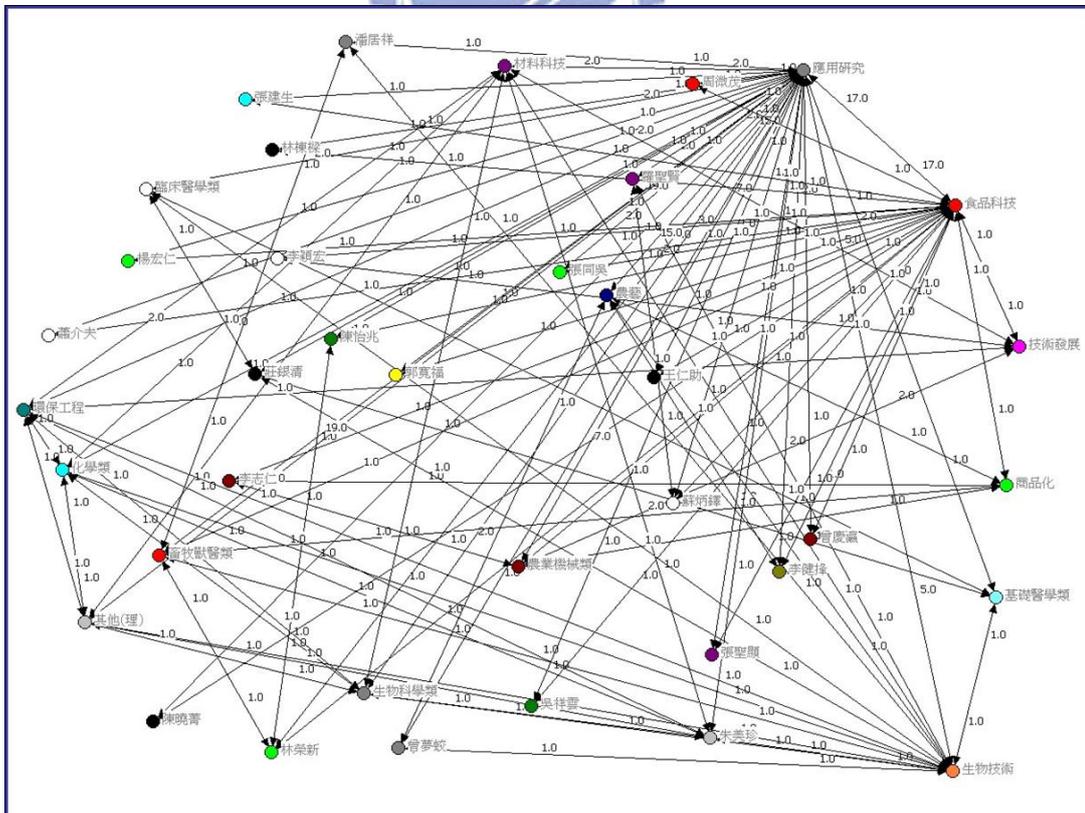


圖 43 96 年度「食品科技」與「生物技術」等研究領域重疊結構圖

第五章 結論

5.1 研究結論

本研究所提出「以計畫主持人(PI)為網絡結構重疊模體三維模型」為電腦模擬分析模型基礎，能完整建構各依年度區別之台灣科技合作研究複雜網絡整體結構，探勘完整科研合作研究社群網絡重疊結構暨個別自我網絡模體，分析相關複雜交互影響作用的結構特性並加以圖形化。對於「合作研究」以外的其他研究方式科專計畫而言，亦適用本研究所提出三維模型架構來進行複雜網絡研究分析，可謂是對於整體國科會科技專案計畫（即從民國 82 年至 96 年等 15 個年度科專計畫總數為 269920 個）皆可以本研究所提出之研究模型與程序方法進行科研社群複雜網絡特性分析驗證，不單僅侷限於合作研究此一研究方式之科專類別。

在有限的研究期間僅能對 94、95 與 96 年等 3 個年度之合作研究科專計畫（共 377 個，研究樣本數已具有一定程度的代表意義）進行相關負責網絡結構分析，雖僅佔整體合作研究科技專案計畫（即從民國 82 年至 96 年等 15 個年度科專計畫總數為 1731 個）的 21.78%，然此 3 個年度平均計畫個數為 125.67 個已超過 15 個年度平均計畫個數為 115.4 個之平均數值（如圖 44 所示）。

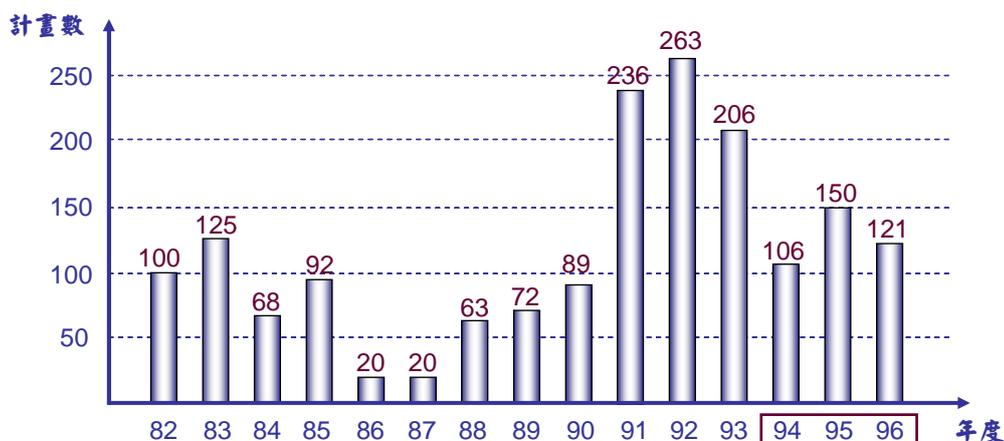


圖 44 各年度合作研究科技專案計畫個數分布圖

本研究完成「生物技術」與「食品科技」等次領域科技合作研究人員所組成之社群重疊結構及其複雜網絡現象進行其結構特性分析，驗證出「社群重疊結構」、「多重度」與「網絡分形性」等研究概念。本研究亦完成其他隱含在不同次領域科技研究人員所組成之社群重疊結構及其複雜網絡現象進行其結構特性分析，如 94 年度即有畜牧獸醫類、園藝、林業類、植物保護類、農業機械類、農業化學類、農藝及材料科技等研究領域重疊結構，或在 95 年度即有畜牧獸醫類、園藝、交通運輸、植物保護類、土木水利工程類及材料科技等研究領域重疊結構，或在 96 年度即有畜牧獸醫類、園藝、植物保護類、農藝、農業機械類及農業化學類等研究領域重疊結構，另在相關合作研究參與成員（如科專計畫主持人暨其參與成員）以及主管機關暨執行機構等節點之間皆有重疊結構。

本研究經過諸多網絡模型實證分析後，驗證台灣政府科技合作研究之整體社群結構與個別自我網絡重疊社群結構間全數符合複雜網絡學術理論基礎三個主要特徵及其相關研究概念—「無尺度」即各年度複雜網絡結構中皆有諸多集結節點與符合冪次定律；「小世界」即高群聚度（群聚係數 >1 ，具多重度）與低間隔度（本研究假設定義網絡連結平均路徑設定為 1 且網絡內具有大量三倍體與 100% 傳遞性）；「分形性」即驗證整體網絡與其內部自我中心節點子圖形等圖形化分析結果並完成相關網絡結構特徵分析。

本研究實證完成台灣政府科技合作研究之整體社群結構與個別自我網絡重疊社群網絡各項結構分析—內聚力分析、小團體分析、自我網絡分析、中心性分析、角色位置分析與冪次定律迴歸分析等諸多量化分析（如本研究第四章實證分析與研究結果等相關內容）。

本研究完成台灣科技合作研究社群之複雜網絡整體結構與個別重疊社群結構之特性分析後提出最佳化研究績效權數考評模式—建議應以「群體中心性」與「門檻比率」作為國科會未來考核合作研究及其他研究方式等科專績效之重要參考值。群體中心性分析結果所得出之代表節點的群體中心性比值大於 0.50 時，

即顯示其群體中心性比率大於 50%，所代表的意義是該年度中執行合作研究科專計劃的計劃主持人(代表節點)在整體全部參與成員節點中佔有過半的關聯能力，表示在該年度全體參與合作研究科專成員所組成的整體網絡中，代表節點除具有各自的程度中心性，其群體中心性大於 0.50 以上即顯示出佔有整體網絡過半控制力（即節點關聯能力），可謂是此整體合作研究社群網絡參與成員可集權受控制於這些代表成員所形成的核心小團體（即派系管理階層），本研究認為將這些代表成員暨科專計畫主持人除以該年度總參與成員數，即等於成為擁有過半控制權力核心小團體的門檻比率，藉由調控此「門檻比率」，即再下一年度合作研究科專計畫審核時，參考歷年所列代表成員名冊，即可提升或降低可能代表成員與參與成員數目，進而調控影響下一年度整體網絡過半控制力。

然而，此門檻比率數值是「高」或「低」的研究意涵仍需做進一步的研究與探討，本研究提出「群體中心性」比率數值值得重點觀察其歷年來的變化，藉由調控此「門檻比率（threshold rate）」來均衡合作研究社群網絡控制權力，譬如在執行國家型科專計畫時，可透過調節控制其社群網絡控制權力而增強研究效率與管理效能，或降低其社群網絡控制權力而避免參與研究成員形成大型派系擁有過大的網絡控制權力而把持過多研究資源或造成浪費及浮報等情事發生。

本研究定義群體中心性大於 0.50 以上即顯示出佔有整體網絡過半控制力（即節點關聯能力）可依不同研究屬性而設定，當然可以著名經濟學理論—帕雷托法則（Pareto principle）亦稱為「80/20 法則」作控制力設定，如本研究驗證所得 94、95 與 96 等三年平均門檻比率為 13.80%，意指社群網絡中 13.80% 的就具有過半控制力，按比例原則 20%則有近 72.46%的派系控制力，已很接近 80/20 法則所謂的 20%的人控制 80%的財富資源（1906 年研究觀察到的義大利社會財富結構現象）。因此若將「年平均門檻比率」取越多年度之平均值，則更具有研究績效考評之參考價值，亦可透過本研究所設計之實驗流程進而分析得出個別年度門檻比率與年平均門檻比率之趨勢性比較。

5.2 研究建議

本研究依據研究結論內容，對台灣科技專案計畫相關政府主管機關、參與合作研究科專先進與未來相關複雜網絡研究者提出研究建議：

5.2.1 對台灣科技專案計畫相關政府主管機關的建議

本研究建議可以沿用「以計畫主持人(PI)為網絡結構重疊模體三維模型」的持續對台灣科技合作研究社群複雜網絡結構特性進行歷年分析並長期觀察「群體中心性」比率數值與設定理想「門檻比率」（如歷年來平均比率值作設定），並驗證出往後每個年度的網絡特性。本研究所提出之結構重疊模體三維模型可以進行其他研究方式類別如「自行研究」、「委託研究」、「學術補助」及「補助（研究／辦理）」等，本研究鎖定「合作研究」研究方式進行研究，是因其定義相對明確且其相關網絡數據所呈現年度網絡節點規模範疇較適合獨立研究使然，若投入更多研究人員即可探勘更多其他研究方式類別科專社群複雜網絡結構特性。

例如可將計畫主持人歷年來科專績效表現（實質如專利、技術移轉與期刊發表等）以及參酌政府科技計畫績效評估報告，其相關重點與比重評量之科專績效要素等皆可量化輸入至各年度合作研究社群複雜網絡結構中，套用在原僅以連結關係次數為連接線之賦權值的整體結構或個別自我網絡模體三維模型結構上，重新賦權演算驗證整體或個別研究績效表現之複雜網絡特性分析。

然而個別科專計畫所選定的次領域多專注於一個或僅數個次領域上，在比較相關績效要素或賦予評量權值時，應選定相同次領域作比較，如本研究提出在個別年度中有生物技術及食品科技暨其他具有重疊結構之次領域，將科專研究次領域相同的諸多科專計畫進行同質性的網絡結構關係連結之賦權比較則會更顯相關賦權後複雜網絡特性分析的客觀公正性（比如將不同次領域如「農業化學」與「光電工程」進行跨「理學」與「農業」等兩大研究領域作科專績效賦權後之相關結構特性分析比較就顯得不夠客觀與不具公正性之研究考量）。

5.2.2 對參與合作研究科專計畫先進的建議

「合作研究計畫」係指兩個單位或個人以上(含兩個)對某項研究計畫共同規劃、協調進行研究者屬之。然而本研究對台灣科技合作研究社群複雜網絡結構特性進行三年驗證分析後，發現「合作研究」社群在歷年來過半數仍僅以計畫主持人一個研究成員參與，報請審查單一科專計畫超過兩人以上(含)為參與成員的合作研究科專其所佔比例還是偏低，建議未來申請合作研究科專之計畫主持人應適度增加參與研究成員數。

本研究發現在 94、95 與 96 年等 3 個年度之合作研究科專計畫中，分別有個別年度參與合作研究計畫人數為 9、15 與 10 個之最大社群(即計畫主持人暨參與人員)，觀察原始 GRB 搜尋系統資料集之網絡數據，顯示參與個別合作研究科專社群人員越多，通常會被國科會審議委員審核通過賦予較多的研究經費，但仍需要比較同一合作研究計畫主持人歷年來科專績效表現(實質如專利、技術移轉與期刊發表等)以及參酌政府科技計畫績效評估報告，其相關重點與比重評量如下：1. 執行之內容與原計畫目標符合程度(20%)；2. 已獲得之主要成就與成果(outputs)滿意度(30%)；3. 評估主要成就及成果之價值與貢獻度(outcomes/impacts)(30%)；4. 與相關計畫之配合程度(Bonus)(10%)；5. 計畫經費及人力運用之適善性(15%)；6. 後續工作構想及重點之妥適度(5%)。若年度個別科專皆符合上述相關績效考核，即可繼續賦予下年度申請新科專所提出之研究經費補助需求。

本研究亦建議未來申請合作研究科專之計畫主持人也可適度增加參與研究次領域選定數目，就研究觀察而言，在 94、95 與 96 年等 3 個年度之合作研究科專計畫中，分別有個別年度參與合作研究計畫最大選定研究領域數目為 4、6 與 6 個次領域，選定研究領域數目越多，跨領域研究性越強，通常補助其研究經費佔整體年度總經費之比例也較僅選定單一研究領域之合作研究科專來的多。

5.2.3 對未來相關複雜網絡研究者的建議

對於未來相關複雜網絡研究者在進行複雜網絡相關議題研究時，首先必須確立與研究議題相關網絡數據之完整性，蒐集方式可以透過相關數據資料庫的原始初級資料，尤其以政府官方發佈之真實資料或歷史紀錄為佳，亦可透過問卷調查或具真實情況觀察記錄獲得。再者必須依據文獻探討出相關複雜網絡理論所述之內容及意涵來作為設計驗證模體時所需研究構念基礎，從而設計出適合該研究議題以進行網絡數據驗證實所需使用之模體驗證模型來執行實證分析。

建議在進行 UCINET 網絡數據工作表輸入編碼程序時，每建立一筆網絡子圖形數據時，應立即執行 NetDraw 網絡圖形化應用分析軟體中的 ego 圖形化模式與程序來從事驗證工作，即以網絡圖形化結果驗證網絡數據編碼之完整性與正確性，避免不必要的謬失與錯誤情事發生而影響實證分析結果。

在設計驗證模體時，必須考量其網絡間的傳遞特性，如本研究是透過「計畫主持人」作為探討網絡結構重疊模體之自我中心關聯節點，若無假設其模體內部節點間相互關聯之基本定義以作為網絡數據編碼依據及圖形化分形性基礎，是很難將網絡數據以矩陣編碼方式進行實證分析也難以明確地解釋其複雜網絡特性驗證分析結果。

建議未來相關複雜網絡研究者可參考本研究所提出實驗設計之網絡特性分析相關數值衡量與操作定義彙整表內容，實際應用各項複雜網絡結構分析方法—內聚力分析、小團體分析、自我網絡分析、中心性分析、角色位置分析與冪次定律迴歸分析等諸多量化分析，酌量選擇適宜結構分析方法以利探討未來相關複雜網絡研究議題。

參考文獻

Albert, R. and Barabási A L, "Statistical mechanics of complex networks", REVIEWS OF MODERN PHYSICS, Vol. 74, pp.47-97, 2002.

Albert-Laszlo Barabasi and Eric Bonabeau, "Scale-Free Networks", SCIENTIFIC AMERICAN, Vol. 288(5), pp.60-69, 2003.

Barabási A L, Albert R, "Emergence of scaling in random networks," Science, Vol. 286, pp. 509-512, 1999.

Barabási A L, Albert R, Jeong H, "Mean-field theory for scale-free random networks," Physica A, Vol. 272, p.173-187, 1999.

Benoit B. Mandelbrot and John A. Wheeler, "The Fractal Geometry of Nature", American Journal of Physics, Vol. 51, Issue 3, pp. 286-287, 1983.

Bron C and Kerbosch J., "Finding all n-cliques of an undirected graph", Comm of the ACM, Vol. 16, pp.575-577, 1973.

Chaoming Song, Shlomo Havlin and Hernan A. Makse, "Origins of fractality in the growth of complex networks", nature physics, Vol. 2, pp.275-281, 2006.

Chaoming Song, Shlomo Havlin and Hernan A. Makse, "Self-similarity of complex networks", Nature, Vol.433, pp.392-395, 2005.

CY Huang, CT Sun, JL Hsieh, YMA Chen and H Lin, "A Novel Small-World Model: Using Social Mirror Identities for Epidemic Simulations", SIMULATION, Vol. 81, No. 10, pp. 671-699, 2005.

Dorogovtsev, S. N. and Mendes, J. F. F., "Evolution of networks", Advances in Physics 51(4), pp.1079-1187, 2002.

Duncan J. Watts and Steven H. Strogatz, "Collective Dynamics of 'small-world' Networks", Nature, Vol.393, pp.440-442, 1998.

Filippo Radicchi, Claudio Castellano, Federico Cecconi, Vittorio Loreto, and Domenico Parisi, "Defining and identifying communities in networks", Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol.101(9), pp.2658-2663, 2004.

Freeman, L.C., "A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness", Sociometry, Vol. 40(1), pp. 35-41, 1977.

Freeman, L.C., "Centrality in social networks: conceptual clarification", *Social Networks*, Vol. 1, pp.215–239, 1979.

Freeman, L.C., Borgatti, S.P., White, D.R., "Centrality in valued graphs: a measure of betweenness based on network flow", *Social Networks*, Vol. 13, pp.141–154 , 1991.

Gergely Palla, Imre Derenyi, Illes Farkas and Tamas Vicsek, "Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society", *Nature*, Vol.435, pp.814-818, 2005.

Ina Koch, "Enumerating all connected maximal common subgraphs in two graphs", *Theoretical Computer Science*, Vol. 250, pp. 1-30, 2001.

J. Gary Augustson and Jack Minker, "An Analysis of Some Graph Theoretical Cluster Techniques", *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol 17, Issues 4, pp. 571-588, 1970.

John Scott, *Social Network Analysis*, Sage Publication, Inc., London, 2000.

Joshua R. Tyler, Dennis M. Wilkinson, Bernardo A. Huberman, "Email as Spectroscopy: Automated Discovery of Community Structure within Organizations", *International Conference on Communities and Technologies*, pp. 81-96, 2003.

Knoke, David & Kuklinski, James H., *Network Analysis*, Sage Publication, Inc. , London, 1982.

M. E. J. Newman and D. J. Watts, "Renormalization group analysis of the small-world network model", *Physical Letter A*, Vol. 263, Issues 4-6, pp.341-346, 1999.

M. E. J. Newman, D. J. Watts and S. H. Strogatz, "Random graph models of social networks", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99 (Suppl 1), pp. 2566–2572 , 2002.

M. Girvan and M. E. J. Newman, "Community structure in social and biological networks", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, no. 12, pp.7821-7826, 2002.

M. Grötschel and Y. Wakabayashi, "Facets of the clique partitioning polytope", *Mathematical Programming*, Vol 47, pp. 367-387, 1990.

M.E.J. Newman, "A measure of betweenness centrality based on random walks," *Social Networks*, Vol.27, pp.39–54, 2005.

M.E.J. Newman, "Ego-centered networks and the ripple effect", *Social Networks*, Vol. 25, pp. 83–95, 2003.

M.E.J. Newman, "Fast algorithm for detecting community structure in networks", *PHYSICAL REVIEW E* 69, 066133, 2004.

M.E.J. Newman, "The structure and function of complex networks," *SIAM Review*, Vol. 45(2), pp.167-256, 2003.

Martin G. Everett and Stephen P. Borgatti, "Peripheries of cohesive subsets", *Social Networks*, Vol. 21, pp.397-407, 1999.

Ole J. Jacobsen, "From The Editor", *The Internet protocol Journal*, Vol. 3(4), pp.1, 2000.

P. Wouters and L. Leydesdorff, "Has Price's Dream Come True : "Is Scientometrics a Hard Science?", *Scientometrics*, Vol. 31, No. 2, pp.193-222, 1994.

Phillip Bonacich and Paulette Lloyd, "Eigenvector-like measures of centrality for asymmetric relations", *Social Networks*, Vol. 23, pp. 191-201, 2001.

Robert J. Mokken, "Cliques, Clubs and Clans", *Quality and Quantity*, Vol.13, pp. 161-173, 1979.

Ronald L. Breiger, Scott A. Boorman and Phipps Arabie, "An algorithm for clustering relational data with applications to social network analysis and comparison with multidimensional scaling", *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 12, Issue 3, pp. 328-383, 1975.

Seidman, Stephen B and Foster, Brian L., "A graph-theoretic generalization of the clique", *J. Math. Sociol.*, Vol 6(1), pp. 139-154, 1978.

Song C., Havlin S., Makse H.A., "Origins of fractality in the growth of complex networks", *Nature Physics*, Vol.2, pp.275-281, April, 2006.

Stanley Wasserman and Katherine Faust, *Social Network Analysis: Methods and Applications*, Cambridge University Press, UK, 1994.

Steven H. Strogatz, "Exploring complex networks", *Nature*, Vol.410, pp.268-276, 2001.

Tao Zhou, Gang Yan and Bing-Hong Wang, "Maximal planar networks with large clustering coefficient and power-law degree distribution", *PHYSICAL REVIEW E* 71, 046141, 2005.