

## 第肆章 個案探討

### 第一節 卡文迪什實驗室

#### 壹、基本資料

##### 一、時代背景

十九世紀前葉，英國受到產業革命的影響，機器大量取代人工、經濟蓬勃發展，造就日不落國的同時，科學家們卻受限於牛頓力學的影響，陷於理論力學與數學的框架內，與產業發展嚴重脫節。反觀歐洲大陸的法國、德國，特別注重將牛頓力學應用到工程技術上，朝向結構力學、彈性力學、電磁學、熱力學等應用力學領域去開拓，並為歐洲各國培養出許多高級科學人才。於是，世界科學所關注的焦點逐漸轉移到法、德兩國。這樣的局面，使得英國學者開始思考研究方向與高等教育體制改革的問題。雖然陸續有法拉第(Michael Faraday)發現電磁迴轉與電磁感應現象、麥克斯威爾(James Clerk Maxwell)提出電磁場方程組、焦耳(James P. Joule)提出熱功當量與焦耳定律，發現能量守恆定律等，但僅限於零星科學家的研究方向改變，整個教育體制仍未有大變動。直到十九世紀後期，英國政府的決策者才意識到此一問題的嚴重性，特別是產業革命後對於科技人才的需求激增，而於西元 1850 年成立「皇家委員會」負責大學教育的改革，朝向培養大量科學家、發展自然科學方向努力。因此，實驗物理學才得以在英國開始發展，而卡文迪什實驗室在這場變革中，就扮演了關鍵的角色。

##### 二、英國的高等教育體制

劍橋大學設立於十四世紀，自從十七世紀牛頓對於力學原理的偉大發現後，使得這所大學無論在英國或全世界，都佔了相當重要的地位；但是，此後的兩百年間，因為宗教思想的限制，使得英國的物理學發展停滯不前。劍橋原本實施的「數學優等生」制度，讓大學畢業

的優秀學生可以考取「數學優等生」，相當於現在的研究生，畢業時按考試成績排名次。這樣的制度促使高級理工人才留在數學或理論力學的領域，反而忽略了其他領域人才的培育。直到 1851 年，擔任劍橋校長的康索爾親王(Prince Consort)，開始重視應用科學，開始實施「自然科學優等生」制度，將物理、化學、生物人才納入培育的行列。而英國政府方面，雖然 1850 年成立的皇家委員會曾做出兩點建議：1. 加強化學實驗與創建實驗物理教學；2. 自然科學優等生考試加入電學、磁學、熱學，卻遭到劍橋保守派的反對。這個問題，直到 1861 年德文郡第七代公爵—卡文迪什(Cavendish, William)接任劍橋大學校長後方有改變。

### 三、卡文迪什實驗室的創建

1868 年 11 月，劍橋大學依據皇家委員會建議，成立一個校內的特別委員會規劃實驗物理學的發展；該委員會於 1869 年 2 月發表其建議：劍橋大學應設置一個新的實驗物理學教授講座，並成立實驗室以從事相關的教學與研究工作。根據估計，籌建費用大約需要 5,000 英鎊，但校方根本沒有這筆預算！後來，卡文迪什校長允諾由他私人全數贊助，才解決了資金不足的困境；也因為這樣，這個實驗室最後以資助者姓氏加以命名。經過將近三年的時間，在 1874 年興建完成，共花費 8,450 英鎊。

根據劍橋大學特別委員會的報告建議，對於這個實驗物理學教授的委任與職責規定包括：該教授的選擇和委任，由大學的評選委員會選舉產生；只在任期之內享有實驗物理學教授的職權與待遇；每學期至少講課十八次，內容主要是講授熱學、電與磁學的規律；若該教授應聘擔任其他講座教授時，此教授席位便須讓出，以尋求下一位繼任者。由於這個實驗室後來被命名為「卡文迪什實驗室」，因而這個實驗物理學教授又被稱為「卡文迪什教授」。

#### 四、卡文迪什實驗室創建的宗旨與性質

卡文迪什實驗室成立時，即確立其目的與宗旨為：「用物理實驗的方法，揭示自然的未知現象和規律，進行教學與研究，並且實行將研究注入教學的方針。」(閻康年, 1999, 第 27 頁)該實驗室落成時，自然(Nature)雜誌還特別以“The new physical laboratory of the University of Cambridge”為題，報導實驗室設立的過程及樓層、房間的設計<sup>1</sup>。文中特別提到：在實驗室的橡木大門上，刻有下面這句引自聖經詩歌的拉丁文句：“*Magna ópera Dómini exquisíta in omnes Voluntátes ejus.*”，譯為現代英文為：“The works of the Lord are great, sought out of all them that have pleasure therein.”<sup>2</sup>，中文意思是：「主的創作是博大精深的，發掘任何你所感興趣的東西吧！」(閻康年, 1999, 第 26 頁)，此刻文明白點出在這個實驗室裏，任何自然界的現象或東西都可以研究，為未來各個階段研究領域的轉變，埋下一個伏筆。該室既是劍橋大學的物理系，又是研究實驗室，具有教學與研究的雙重任務。

#### 五、歷代卡文迪什教授與各時期研究領域介紹

卡文迪什從麥克斯威爾(Maxwell, J.C.)開始，接著是瑞利男爵(Sir Rayleigh)、湯姆森(Thomson, J.J.)、盧瑟福(Rutherford, E.)、布拉格(Bragg, W.L.)、莫特(Mott, N.F.)、派帕德(Pippard, A.B.)、愛德華茲(Edwards, S.F.)，到現任的弗倫德(Friend, R.H.)，共九任的卡文迪什教授，開創了世界物理史上電磁學、氣體放電、原子內結構、核物理、射電天文學、固體物理學、凝態物理學、光電子學的輝煌年代，許多在物理教科書上所讀到的原理、人物，全都出自這個實驗室；甚至連分子生物學的啟蒙事件—DNA 雙螺旋結構的發現—也是在此產生

<sup>1</sup> The new physical laboratory of the University of Cambridge (1874). *Nature* Vol. X, No. 243, p.139-142.

<sup>2</sup> [http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/laboratory/laboratory\\_index.htm](http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/laboratory/laboratory_index.htm).

的！該室總共培養出二十八位諾貝爾獎得主，更是世界上其他實驗室難以望其項背的一項紀錄。若以歷任卡文迪什教授做分野，探討各時期的研究與重大貢獻如下表。

表 4-1 卡文迪什實驗室各時期的研究與重大貢獻

時期/教授任期	研究領域	重大貢獻
麥克斯威爾 (Maxwell, J.C.) 1871~1879 (8 年)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 電單位的測量與標準化的工作</li> <li>2. 整理 H. 卡文迪什公爵 (第二代德文郡公爵，發現氧和用扭秤證明萬有引力定律的科學家) 遺留的實驗手稿、一一重做實驗、逐個驗證訂正，並編輯成書出版。</li> <li>3. 光學與電磁學的研究，如光的偏振面、不同介質的電容率、驗證溫度計以確定空氣含水量、測量地球密度等等。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗室的建置：設計整個三層樓磚造的實驗大樓、籌劃所有空間佈局、將各種儀器裝設起來，並使它們達到學生們學習上可以使用的程度。而實驗室建成之後，更與 W. 卡文迪什校長共同以自己的財產捐助實驗室所需的儀器與用具費用，使得實驗物理教學可以正常進行。</li> <li>2. 實驗物理教學的先驅：卡文迪什實驗室是英國第一個正規的公立實驗室，先前並沒有任何成熟的經驗可供參考；因此，麥克斯威爾先後向 W. 湯姆森、克利夫頓 (R. B. Clifton) 等人訪問與請益，從中學習實驗室的各項安排與實驗物理課程的教授方法。當時並無現成的教材或教科書，麥克斯威爾只得參考 F. 詹金斯 (Fleeming Jenkins) 的『電和磁』、他自己的『論熱理論』和『電磁論著』、赫姆霍茲的液體漩渦運動論文、W. 湯姆森的『液體動力學』等文獻，再加上自編的教材。</li> <li>3. 培育第一代實驗物理學人才：麥克斯威爾在短短幾年當中，培育了不少人才，日後都在英國物理學界佔有一席之地，並對於英國實驗物理領域做出非常大的貢獻。</li> </ol>

時期/教授 任期	研究領域	重大貢獻
<p>瑞利男爵 (Rayleigh)</p> <p>1879~1884 (5年)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 對各種電標準進行深入的研究與精確的測定；將電標準測量擴大到電流和電壓的單位，並更準確地測量電阻單位，將準確度提高到99.29%。之後，這些研究結果不但被英國貿易部採用，更獲得國際電氣大會肯定，成為全世界的電標準基礎。</li> <li>2. 從事單晶表面反射光問題、不同形式濕度計比較等研究。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建立儀器基金制與添購儀器設備：建立「儀器基金」購買零件，並在工程師 G. 高爾頓 (George Gordon)協助下建立一個車間，負責實驗室儀器的製造與維修，促進教學研究工作的發展。</li> <li>2. 擴大規模，仿照美國麻省理工學院實行大班實驗物理教學。</li> <li>3. 課程安排與應用物理學教科書編寫：開課數由 1880 年的 5 門課增加到 1884 年的 10 門課，參考麻省理工學院皮克林 (Pickering)1873 年撰寫的『物理操作原理』以及德國考爾洛什(Kohlrausch)的物理測量書，著手編寫英國自己的實驗物理教科書，名為『格拉茲布魯克和肖實用物理』(以兩位實驗演示員命名)，十分受到歡迎，使用達 50 年之久。</li> <li>4. 建立系統的實驗物理考試制度：由於修課學生人數增加，加上要應付這麼多學生參加實驗物理考試，也必須增添實驗器材。至於書面考試與實驗考試的成績如何取得衡平的評分比例，也是項挑戰。</li> <li>5. 打破婦女不得進入大學就讀的制度：瑞利男爵受到自己妻子與小姨子的影響，於 1882 年籌設男女平等的班級，讓她們參與歐姆絕對值、銀的化學當量測定等研究工作。</li> </ol>

時期/ 教授任期	研究領域	重大貢獻
<p>湯姆森 (Thomson, J.J.)  1884~1919 (35年)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氣體放電研究：測量氣體放電過程中，氣體導電與電壓和電阻的關係，以及各種氣體的漏電率。期間共發表 124 篇論文，於 1893 年發表的『電與磁新進研究注釋』一書，被認為是馬克斯威爾『電磁論著』的續篇；又於 1903 年發表『氣體導電』一書，奠定湯姆森在氣體放電領域的權威地位。</li> <li>2. 發現電子：十九世紀末，對於陰極射線的研究主要分成兩派：德國學者認為陰極射線是一種波；而英國學者普遍認為是帶電的原子或分子。湯姆森在盧瑟福的協助下，改進法國科學家佩蘭 (Perrin, J. B.) 與德國科學家赫茲 (Hertz, H. R.) 的實驗，證實陰極射線是帶負電的粒子。後來又改進舒斯特的方法，精確測量陰極射線的荷質比，並把它與氫原子相比，因而發現了比氫原子小 1000 倍的電子，顛覆了經典原子論，即認為原子已是最小單位粒子，不可分亦不可變。這些研究結果發表在 1897 年 10 月出版的『哲學雜誌』名為『陰極射線』的論文中。同一篇論文中，湯姆森還提出了物質的電子結構理論，引發後續物理學界對原子結構模型的研究與量子物理學的發展。</li> <li>3. 正電子的研究與質譜儀的發明：發現了帶負電的負電子之後，湯姆森試圖從陽極射線找尋相對</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 加強該室儀器製造能力、技工體制的形成：加強聘請多位儀器製造技工並重用他們，使他們都在該室工作數十年之久，不但充分支援該室教學與研究工作所需，更形成一個教研人員之外的技術人員新體制。</li> <li>2. 建立卡文迪什實驗室圖書館：將麥克斯威爾夫人捐出的麥克斯威爾藏書搬到圖書室，經過不斷補充，建立頗具規模的圖書館，供學生與研究人員之用。</li> <li>3. 帶領卡文迪什實驗室主要研究方向的轉變：整個實驗室的研究方向由固體電磁理論轉變到氣體放電領域；此一轉變，後來剛好符合了十九世紀末現代科學革命所需，更造就卡文迪什實驗室輝煌歷史的一頁。此外，也從宏觀物質研究轉到原子內的結構探索，導致後來核物理的領域興起與原子能的發現。</li> <li>4. 研究生招收原則的改變：將原本劍橋只對英國本土招收學生的制度打破，同時招收英屬地的學生；同時首開先例招收女研究生；後來更對世界其他國家招收學生，例如法國的郎之萬。</li> <li>5. 仿照德國的博士生制度，改革研究生教育體制，將自然科學優等生制度轉變成為碩士研究生制：學習兩年有關的課程，考試合格並提交一篇原創性的研究論文後，即授與碩士學位。</li> <li>6. 培育人才：共培養服務於世界各地的 82 個教授、8 個諾貝爾獎得主、27 個皇家學會會員。</li> </ol>

	<p>應帶正電的正電子；雖未順利得到結論，但為之後的研究奠定基礎，他的助手阿斯頓 (Aston, F. W.) 並因而發明質譜儀，為化學與放射性研究提供了一項非常有用的工具。</p> <p>4. 聲納系統的發明：第一次世界大戰期間，因為軍事的需要，卡文迪什實驗室被軍方徵召進行潛水艇探測方法的開發。後來由盧瑟福 (Rutherford, E.) 與郎之萬 (Langevin, P.) 同時發明了聲納系統。</p>	<p>7. 激發活潑的討論風氣：以新穎而開放的方式，營造出活潑熱烈的討論平台，包括：1893 年創設的卡文迪什物理學會、午茶時間(盧瑟福的建議)、晚餐漫談、年終聚餐等等。透過這些活動，不但讓來自世界各地的學生與研究人員敞開心胸，更在無意間擦出智慧的火花，誘發了許多重要發現的萌芽。</p>
--	---	--

時期/ 教授任期	研究領域	重大貢獻
盧瑟福 (Rutherford, E.)  1919~1937 (18 年)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 發現中子。</li> <li>2. 元素的人工嬗變。</li> <li>3. 加速器的發明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使科研的規模從小科學時代轉變到大科學時代：卡文迪什實驗室由幾個人發展到 35 人左右的規模，學科由核物理、無線電物理和質譜儀，發展到包括核物理、無線電探測、加速器、強電磁場、低溫物理、蛋白質晶體結構等新學科；由一個綜合組發展成以加速器為中心的 4 個研究組和蒙德實驗室。</li> <li>2. 培養核物理重要人才：每年招收 20-30 個研究生，為當時世界上最大的物理實驗室。這些人畢業後到世界各大學任教，總數約四五百人。其中 7 人獲得諾貝爾獎，2 人被選為大英科學促進學會主席，1 人當選皇家學會主席。</li> <li>3. 將基礎研究用於振興英國工業：第一次世界大戰期間，盧瑟福受命研究潛艇探測的親身經驗，加上 1918 年前往美國參觀通用汽車與西部電器兩家公司的工業研究實驗室，使他感受到卡文迪什實驗室應對國家的工業發展作出一些貢獻，而不只是從事基礎研究而已。後來他出任英國科學與工業研究部顧問委員會主席時，便鼓勵無線電與通訊、人工合成橡膠與石油、人工肥料等研發，並提倡和幫助一些大公司成立工業研究室，期望能以基礎研究推動技術與產業的發展。</li> </ol>



時期/ 教授任期	研究領域	重大貢獻
布拉格 (Bragg, W.L.)  1938~1953 (15 年)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 雷達的發明與使用：第二次世界大戰期間，所有的助手與研究生都參加戰事工作，特別對於精密的微波雷達研究與應用貢獻很大。此外，為了軍事目的而設立的無線電班，訓練了一批批青年進入無線電通訊單位服務。</li> <li>2. 核物理。</li> <li>3. 低溫物理：研究液態氦、超導現象。</li> <li>4. 電子顯微鏡：對於後來研究分子生物學、生物物理、金屬結構都十分重要。</li> <li>5. 蛋白質結構：從事肌紅蛋白質的結構分析，後來解出 DNA 雙螺旋結構，奠定了分子生物學的研究基礎。</li> <li>6. 射電天文學：研究雷達信號產生的特殊干擾現象，50 年代發現一系列脈沖星，對中子星和恆星演化晚期的星體做出重大貢獻。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 科學管理體制的創新：包括以下兩項：                         <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 成立「大組系」管理體制：戰後研究人員與學生急劇增加，遂將實驗室中的研究人員分為幾個大組，每個大組再分成幾個小研究組。每個大組自成相對獨立的體系，擁有自己的車間、助手和秘書；而整個實驗室設有主要車間，負責製作特殊機床或大型設備。大組負責人可以根據自己專業的需求進行研究與教學計畫，安排各小組的工作，進行學術報告和研討。</li> <li>b. 採用系秘書管理行政事務：設立「室秘書」一職，遴選大學畢業程度而善於管理的人擔任，主管房屋、財政、物品、設備與材料、文件、人員薪資等行政事務，使得研究人員得以全心從事研究與教學。由於此一制度施行效果良好，劍橋大學在全校加以推廣，連帶也影響世界其他實驗室及學校。</li> </ol> </li> <li>2. 新學科的建立：第二次世界大戰後重新布局，進行該室發展方向的調整，並培養許多相關領域的新人才，特別是分子生物學、射電天文學、晶體物理學等領域。</li> <li>3. 培育人才：布拉格不只是在金錢或物質上給予支持，更為下屬進行許多輔助的工作，甚至替他們的論文畫插圖。因而被形容為「一個辛勤的園丁」。</li> </ol>

時期/ 教授任期	研究領域	重大貢獻
莫特 (Mott, N.F.)  1954~1971 (17 年)	1. 固體物理學：包括超導體研究與非晶體半導體材料。 2. 射電天文學。	1. 大膽改革，將該室研究導往固體物理方向邁進：莫特上任之後，將布拉格任內百花齊放的研究方向，進行聚焦與限縮。 2. 面向世界尋求合作對象，聘請國外客座教授：第二次世界大戰之後，美國以其未受戰爭摧殘的經濟優勢，廣納不同種族的科學家，造成它科技與經濟上的突飛猛進。此時的英國早已不復昔日「日不落國」的風采，莫特清楚地認知到這一點，邀請美國貝爾實驗室安德森 (Anderson, P. W.)到卡文迪什實驗室擔任一年的客座教授。這項合作導致莫特發明了非晶半導體理論，為半導體材料開拓新領域。後來與約瑟夫森 (Josephson, B. D.)三人先後獲得諾貝爾物理獎。 3. 加強與工業界的關聯性：莫特任內成立了幾個與工業發展相關的新組別，包括與電子工業關係密切的電子服務部、與氣象觀測相關的氣象物理組、以及晶體實驗室、電子顯微鏡組、流體金屬組等。 4. 將卡文迪什實驗室的研究取向由前幾任偏重實驗物理導回理論物理，挽救該室在缺乏理論競爭力方面的不安。

時期/ 教授任期	研究領域	重大貢獻
派帕德 (Pippard, A.B.)  1971~1982 (11 年)	1. 固體物理。 2. 凝態物理。 3. 半導體物理。 4. 射電天文學、地球物理。	1. 卡文迪什實驗室搬遷至新址：從向劍橋校方一再呼籲重視卡文迪什實驗室改建的問題，到擔任建築委員會主任，進行規劃、選址、設計、建造、房舍分配、搬遷、正式投入研究等，派帕德共花去約 12 年的科學研究黃金歲月。儘管他因為付出這些精力而無法在個人成就上再添風采，但為該室後來的發展，的確貢獻良多，功不可沒。 2. 試圖振興卡文迪什實驗室：由於美、日等國對應用物理的大量需求，激發理論物理的迅速發展，使卡文迪什實驗室面臨極大的挑戰。隨著人才外流與經費短缺的問題浮現，派帕德將培養人才列為第一優先的任務。
愛德華茲 (Edwards, S.F.)  1984~1995 (11 年)	凝態物理成為最大組，射電天文學仍有一定份量，高能物理則已經萎縮。	1. 由於當時的電腦資訊領域發展蓬勃，該室全力發展資訊科技與應用，與國外網絡連結。 2. 主要研究方向往凝態物理轉變：包括低尺度導體、電子隧道、無序固體、熱中子物理、聚合物物理、金屬中自旋漲落、超導性、微電子學、微結構物理、半導體物理、斷裂力學、凝聚態理論問題與計算機模擬等。 3. 提倡跨學科的研究：打破原本物理學範疇，擴大了物理學的功能。 4. 強調大學中物理教學和研究的特殊重要性，以及人才培養。 5. 將作為學術負責人的卡文迪時教授與系主任職務分開，由霍伊擔任物理系主任；這是該是百年之後首次實行分權的管理體制，使得卡文迪什教授集中主要精力和時間於科學研究上。

時期/ 教授任期	研究領域	對卡文迪什實驗室的重大貢獻
弗倫德 (Friend, R.H.)  1995~今 (9年)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 轉向光電領域的發展：從有機聚合物光發射塑料(PPV)的發明，到有機聚合物激發光二極管(LED)的製造，帶動液晶影像螢幕產業的發展。</li> <li>2. 將凝態物理的研究課題進行整併，加強微結構物理與微電子學研究。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 開闢基礎研究與技術、工業緊密結合的新途徑：為將 PPV 商品化，成立「劍橋影像技術公司」。</li> </ol>

【閻康年，1999、本研究整理】

## 貳、傳統與學風

中國物理學家張文裕教授曾說：「一個單位做出貢獻不在於一個人、幾個人，而在於建立一個傳統、環境。」(閻康年，1999，第 601 頁)。歷史悠久的組織，難免就會出現一些「傳統」，但「傳統」不見得都對於組織的延續有所助益，有些「傳統」反而是阻礙組織創新的「包袱」。在卡文迪什，與組織不斷創新有關的傳統包括以下幾點：

### 一、從事研究的動機

第四任卡文迪什教授盧瑟福，在祝賀他獲得諾貝爾獎的餐會上發表答辭時就提到：「沒有任何東西比注視科學的發展更有趣，它的進展是循序漸進的，猶如人通過中間有著固土之島的沼澤，一天天的行進是極其緩慢的，但是一年之末就會是很大的，十年之末會是巨大的。」(Eve, 1939, 第 186 頁)假如不是對「有趣的」科學發展有著超凡的愛，且如同「創新的 CEO」——只聽聞自身內心的鼓聲前進(李仁芳，民 90A)，怎能忍受如此緩慢的行進？搞不好還常常誤踏長著青苔的石頭，造成進一步退兩步呢！

而繼任的卡文迪什教授布拉格，在皇家學院發表的一場科普演說「什麼因素造成了一個科學家？」時也提到：「熱情是很必要的，因為研究的效率不高時，需要不懈的努力，直到實現。」(Bragg, 1969, 第 407-8 頁)

這樣的內在動機並不止於實驗室的領導人上看得到，更重要的是，領導人還能將這樣的熱情感染他身邊的每一份子，整個實驗室才能動起來！這樣的例子，在卡文迪什最輝煌的盧瑟福時期最為鮮明；科學史學家，同時也是物理學家的伍德(Wood, Alexander)便提到：盧瑟福在發展核物理學派上的成功主要是由於他本人的人品，最明顯的是「火山爆發式的能力」、「不倦的活力」、「強烈的熱情」、「巨大的工作量」；並以其個性的熱情和感染力作為補充，這使他與他的「孩子

們」保持緊密的個人關係，把他的樂觀精神、熱情和興趣傳給他們(閻康年，1999，第 611 頁)。曾是盧瑟福最親近的助手，亦是好友的玻爾(Bohr, Niels，以量子力學解釋原子有核模型而獲得 1922 年諾貝爾物理獎)便提到：在曼徹斯特大學任教時的盧瑟福，每當他沿著實驗室外的走廊散步和興致勃勃地唱起「前進！基督的戰士！」時，表示實驗室裡一切工作正常；但當他吟著憂鬱的輓歌時，即意味著實驗室的工作有問題啦！(閻康年，1999，第 212 頁)。盧瑟福把自己的情感毫不保留地展現出來，為人坦誠、直爽，喜歡與他人在一起，因而能夠吸引一大批優秀的科學人才與他一起奮鬥。玻爾形容盧瑟福受到愛戴的景象說：「他被他指導和鼓勵下工作的一大群熱情青年所包圍，並且為世界上最優秀的科學家們所追隨。」(Eve，1939，第 319 頁)；愛因斯坦也這樣盛讚他：「我認為，盧瑟福是所有時代中最偉大的實驗科學家之一，並且與法拉第是同一級別的。」(Blackett，1972，第 59 頁)。但英國物理學家金斯(Jeans, James)卻說：「盧瑟福比法拉第有著明顯的優勢，因為他有健康的體魄和指導一幫熱情合作者的機會和能力。」(閻康年，1999，第 239 頁)

## 二、求實與批判精神

科學發現的真諦，即在以精確、客觀的觀察或實驗，探索、歸納、演繹出一個系統性的論述。這些觀察或實驗還能被其他人，在不同時空中一再重複發現或操作，並能得出相同的結果。為求得科學上的真理，必定要以求實與批判精神為行事準則，方能達成。因此，治學嚴謹為該室的一個十分重要的傳統，並奠定其卓越超群的學術地位。第一任的卡文迪什教授麥克斯威爾在他的就職演說當中就提到：「我們的部門，要在『對明顯的科學說明所依據的證據進行考察』的基礎上，不僅提供和傳播『真實的科學原理』，而且要提供和傳播『深刻的批判精神』。」(Maxwell，1986，第 242 頁)

因此，早期的卡文迪什實驗室，主要接受大英科學促進協會的委託，進行電單位的測量與標準化的工作，特別是精測電阻標準與歐姆值大小。在此之前，歐洲各國對電單位採取各自的制定標準，缺乏一個共同的精確測量準則。因此，到了瑞利男爵時期，卡文迪什實驗室針對各種電標準進行深入的研究與精確的測定；將電標準測量擴大到電流和電壓的單位，並更準確地測量電阻單位，將準確度提高到99.29%。之後，這些研究結果不但被英國貿易部採用，更獲得國際電氣大會肯定，成為全世界的電標準基礎。其實，這種準確測量的工作必須一而再、再而三地重複相同的實驗；不斷改進各種小細節，也只會為求得更多一個小數位數的精確，過程可謂極其枯燥無味。但是，卡文迪什的研究者忍住了不耐，卻建立了整個電學領域發展的基礎與關鍵。這樣求真的精神與治學態度，也被傳承下來，歷經百年仍奉行不渝。因此，也樹立了卡文迪什的金字招牌，就像商業世界裡所謂的「品質保證」，不但沒有人會去懷疑這個實驗室出來的研究成果，更讓卡文迪什坐穩物理學界的龍頭地位。

卡文迪什對發表研究結果的慎重，從下面的小故事也可以看出：盧瑟福一向很注意學生或助手們的實驗可靠性與正確性，哪一個人如果不拿出準確無誤的結果，他會很不高興甚至發脾氣！1948年的諾貝爾物理獎得主布萊克特(Blackett, Patrick Maynard Stuart)早在1932年利用自己改裝的半自動化雲室，於2000高斯的磁場中發現 $\gamma$ 宇宙射線轉變成正、負電子對，因而證實了正電子的存在。但當時盧瑟福要他再謹慎一點，得到穩妥的結果時再發表，所以布萊克特一直到1933年才正式發表他的研究結果，反倒讓美國的安德森(Anderson, Carl David)在他之前搶得發表先機，後來並以第一個發現正電子的成就獲得1936年諾貝爾物理獎。難怪也常在卡文迪什出沒的狄拉克(Dirac, Paul Adrien Maurice, 1933年諾貝爾物理獎得主)就說：「如果布萊克特不是太謹慎了，他可能首先發表正電子的證據。」(Dirac, 1984,

第 62 頁)

由於從事的是獨特與眾不同的創造，創新者的特質，必然是睥睨群倫 (Defy the crowd, Defy the rule)，不同凡「想」的狂野(李仁芳，民 90B)。這樣狂野的心，在嚴謹的科學研究領域，便以批判的態度展現：就事論事，針對不同的觀點、思想和結果，進行充分的討論、比較和分析。不管批評的對象是否比自己還資深，甚至是自己的指導教授！最著名的例子包括：在各種原子模型相繼出現後，盧瑟福還能挑戰自己的老師湯姆森的「葡萄乾—布丁原子模型」，另行提出原子有核模型。

另一個有名的例子是華生(Watson, J.)與克立克(Click, F.)，他倆不因為兩屆諾貝爾獎得主、結構化學權威鮑林(Pauling, L.)已發表 DNA 三股螺旋 (triple helix) 結構在前；亦不顧布拉格反對他們介入倫敦大學國王學院威爾金斯(Wilkins, M.H.F.)團隊的 DNA 結構研究，終於完成著名的雙股螺旋 (double helix) 模型。後來，華生、克立克與威爾金斯共同獲得諾貝爾獎的殊榮，此一發現更對生命科學領域造成莫大的影響。姑且不論這個故事裡另一個小插曲—引發兩人雙螺旋的靈感其實是來自威爾金斯助手富蘭克林(Franklin, R.)的 X 射線繞射照片；在這三支主要競爭團隊中，華生和克立克資歷最淺卻首先奪魁(克立克當時還是研究生)，正得力於他們敢大膽想像，不循常規。1974 年，鮑林還遺憾地說：「我知道核酸內含有等量的嘌呤和嘧啶，但就沒有想到給它們配對！我也知道嘌呤和嘧啶間可以形成氫鍵，但當時總覺得雙螺旋的機會非常小。不知為何，三螺旋總是出現在我的眼前，就是沒有去試一下雙螺旋。唉，那些極簡單的概念，有時竟是這樣難以捉摸。」(Pauling, 1974)

### 三、民主討論和自由交流

在卡文迪什，從麥克斯威爾開始，就認為「採用自由和充分討論



不同科學過程的相對價值，我們就會成功地形成一個科學批判的學派，並有助於方法論的發展。」(閻康年，1999，第418頁)。到了湯姆森、盧瑟福時期，分別參考德國研討班、蘇聯集體討論傳統，創設了「卡文迪什物理學會」、「卡皮查俱樂部」，讓研究人員討論最新發表的論文，或研究的新想法與初步結果；一方面可以與世界科學前沿共同脈動，另一方面更可藉由集體討論驗證自己的假設與結果。

這裡有一個例子，1895年底，德國實驗物理學家倫琴(Röntgen, Wilhelm Conrad)發現了X射線，當時，他曾於第一時間通知世界上六位物理學家這個消息，身在卡文迪什的湯姆森便是其中一人。湯姆森隨即在「卡文迪什物理學會」上作了介紹，會場上擠滿了人，這第一手資訊更引起了全場騷動！會後，整個卡文迪什停下手邊的工作，全力投入重複實驗與驗證的工作，因而導致湯姆森的學生盧瑟福投入放射線研究，繼而於1898年發現了 $\alpha$ 、 $\beta$ 射線，並預示了 $\gamma$ 射線的存在。後來，湯姆森在1897年發現電子，也是先在這個學會上報告研究結果，才整理成論文在期刊上發表。

卡文迪什還有一項著名的活動——午後茶時漫談(tea time)，是湯姆森採納盧瑟福的建議所開始的一個實驗室活動。當時，該室的研究人員數目增加不少，包括來自國內外大學的訪問人員，知識背景、興趣與愛好各異其趣；特別是不少新人對於劍橋大學的環境與情況不熟悉，彼此也不大了解。因此，為了使大家能有機會互相認識與了解，在每天午後五點的休息時間，進行茶時漫談。為了讓氣氛輕鬆自在，不分職等，均可參加，參與談論任何太陽底下非關物理的事物。原來湯姆森的用意是認為：已經做了一整天的實驗，難免會疲倦，應當利用這段時間聊點別的新鮮事；不過，一天工作下來所遇到的問題，或多或少會被提及，當別的研究人員聽到之後，也會加以回應或給予建議，或甚至引發更多的腦力激盪，對於自己的工作，反而產生意想不到的效果！因此，這樣一個訊息很快便傳到世界各地，紛紛起而仿

效。後來，雖然把喝茶改為喝咖啡，時至今日，仍流行於劍橋與其他實驗室。可能由於這個原因，劍橋大學也以「在悠閒中治學」名聞於世。

除此之外，還有每週一、兩次在教授家舉行，邀請幾個研究人員參加的「晚餐漫談」、每年聖誕節前的「聚餐會」、莫特時期成立的「卡文迪什妻子俱樂部」(由研究人員、研究生和訪問學者的妻子組成，邀請名人演講與討論)等等非正式的交流。藉由這樣輕鬆的交流，無形當中培養了彼此的感情，實驗室優良的傳統與價值觀，更可在不同世代的教師、學生、助理人員間流動與傳承。

#### 四、動手做

進行尖端科學的探索，特別在儀器製造廠商還不普遍時，只有研究者自己最清楚該用什麼樣的工具進行實驗，往往必須自己動手製作儀器；即使是現在，亦非所有現成的儀器或設備都能完全適用於每一個實驗，研究者最好還是要自行調整，方能配合所需。

麥克斯威爾有句名言：「用自己製作的儀器卻總是做錯了的學生，時常比用經過仔細調整好的和易於相信的儀器，卻不敢將它拆成零件的學生，能夠學到更多的東西。」(閻康年，1999，第411頁)。因此，1930年之前，卡文迪什所用的儀器幾乎都是自己發明與製造出來的，如雲室、質譜儀、放射線計數器、加速器、射電望遠鏡等。日本物理學家長岡半太郎曾在盧瑟福發現原子核之後到卡文迪什訪問，令他感到十分驚訝的是：盧瑟福只用那麼簡單的儀器，卻得到那麼重要的成果！

另一個「動手做」的意涵則是所謂的「向前失敗」—從失敗中學習，創造出向前的動力(Leonard-Barton, D.著，王美音譯，民87，第168頁)。在布拉格時期的卡文迪什實驗室，皮魯茲花了二十三年的時間才解開血紅素的結構，開啟該室分子生物學領域的研究。但他剛開

始從事這項工作時，蛋白質是否具有穩定的結構都還是個疑問，許多化學家及生物學家都認為他根本是在浪費時間！但布拉格卻全力支持他，甚至寫信給醫學研究委員會主委，要求提供這個團隊更長期的資助。那是因為，布拉格也曉得皮魯茲的計畫可能不會成功，但只要成功了，就會非常重要。「只要某個計畫夠重要，就算你還無法看清楚要怎麼去執行，就先動手去做，也不會給人說是有勇無謀。」(Sulston, J. & Ferry, G. 著，潘震澤、杜默譯，2003，第 54 頁)，這就是卡文迪什！

## 五、結合教學與研究

做為大學裡的一份子，大學實驗室當然不能只做自己有興趣的研究，教學也是相對的義務。所以，卡文迪什同時是劍橋大學的系級物理實驗室與物理系，擔負百年樹人之責。教學與研究，兩者如何平衡或互為主用，將影響整個實驗室的持續發展。

從麥克斯威爾擔任卡文迪什教授開始，他就將實驗分為「演示實驗」和「研究實驗」：「演示實驗」係在應用物理課上完之後，由專門演示員向學生做實驗表演，目的是讓學生能夠透過實際操作，讓物理知識的抽象概念或符號具體化；「研究實驗」則是讓學生透過親手操作，訓練對於實驗的敏銳度，並培養獨立研究的能力。他主張：將研究精神注入教學之中；教學既是學習，也是進行研究的過程。

到了瑞利男爵時期，參考美國工業管理方法引入卡文迪什的管理與教學體制，開始形成有系統的大班教學體制；並讓實驗演示員編纂實驗物理教科書，將過去私塾式的師徒傳授，轉變為系統化的教學方式。而繼任的年輕教授湯姆森，則持開放的態度接受了德國已實施且有成效的研討班與博士學位制度，成立「卡文迪什物理學會」、向全世界招收男女研究生並創立碩士學位制度。他鼓勵學生從研究當中自我學習，老師只佔在輔導的位置，除非學生遇到了極大的困難無法自

己解決或失去信心時，才給予指點與協助。這個時候，卡文迪什已經漸漸把重心由教學轉向研究。

接下來的盧瑟福與布拉格主事期間，讓研究生在學習期間同時擔負科研課題—在學習中進行研究，透過研究進行學習與創新。盧瑟福就特別強調研究對於創新與教學的重要性：「任何科學部門對於大學和國家的責任，不應當以給學生例行的教育為終點；而且沒有一個實驗室會滿足於抱住過去的知識不放，它應當是原創性的研究獲得新知識的中心。」(Wilson, 1983, 第 271 頁)布拉格則把教學視為研究的補充，並十分重視教學：「教學對於防止研究時的精力耗盡是最安全的保障。」(Crowther, 1974, 第 276 頁)、「一個研究人員應當把所有的能力放在研究好的教學藝術上，並且把他的專業知識傳授給下一代。」(Thomas, 1990, 第 304 頁)因此，不時出現研究生在學習過程中，研究出新的成果而獲大獎或諾貝爾獎的情形。例如：布拉格自己在 20 歲時，就做出獲得諾貝爾獎的 X 射線晶體研究；布萊克特在研究生期間就將威爾遜(Wilson, C.T.R.)的雲室改成半自動，並且發現氮轉變為氧的同位素；約瑟夫森也是在研究生期間就提出超導體隧道效應理論。

晚近時期，正值美國科技與研究逐漸領先各國之際，吸引不少優秀人才前往；相對而言，英國在戰後的工業發展失利導致經濟衰退，卡文迪什的競爭力也漸漸流失當中。因此，他們又回到以教學為重的策略上。莫特主張：低年級大學生和研究生應以教學為主，高年級大學生和研究生則必須加強新物理的教學和研究；如此既可打好物理知識的基礎，又便於研究和成果的湧現。派帕德則更進一步認為：卡文迪什的教學主軸應該配合工業發展，與全國物理教學發展的需求。對於研究生的教育，他認為：「從我們對研究生的教育責任本質來說，必須沿有效的途徑鼓勵他們，儘管他們想過早發表以便很快取得信任的誘惑常難以阻止，我們的信任必須放在牢固的基礎上。我們必須教

得好，不論作為碩士或博士物理學家送出去，他們都會因為應用他們受到的教育而公正地受到歡迎。」(Pippard, 1962)到了愛德華茲擔任教授時，研究的規模日益擴大，跨學門間的合作也日形頻繁。因此，他強調跨學科的人才培養，也關心因為大學物理系未培養出足夠優秀的畢業生，而造成中學物理教學質量不足的問題。

## 參、研究領域的開拓與經營

### 一、領域的開拓

卡文迪什實驗室的研究領域，在一百三十三年間歷經數次改變，轉變的原因都與實驗室領導人，也就是卡文迪什教授本身擅長的領域有關。至於歷任卡文迪什教授，則是由劍橋大學成立「評選委員會」所選出的。這些評選委員並非常設不變，而是逐次組成；除了劍橋大學的副校長之外，邀請的對象往往是當時最著名的物理學家，甚至有的時候是後選人的推薦者。而候選人可由卡文迪什的研究人員中拔擢，更可從外延攬。

仔細分析從外延攬任職的教授進入卡文迪什實驗室前的經歷可以發現：他們並不是進入該實驗室之後才開始該領域的研究，而是之前已經在別的學校闖出一點名聲，或已經在該學派或領域展露頭角的新星。像盧瑟福，早在曼徹斯特大學就已經完成發現原子、原子有核結構及人工打破原子核等不凡成就；回到卡文迪什後，旋即發現中子、元素的人工嬗變現象，在後來他的領導下，還發明了加速器。而布拉格也是在曼徹斯特大學任教期間，即逐步形成晶體研究學派；莫特則是在出任布里斯托爾大學理論物理教授時，研究方向開始朝著固體物理方向轉變，更帶出了布里斯托爾固體物理學派的名聲。因此，當他們進入卡文迪什實驗室之後，便可很快利用該實驗室既有的良好基礎，快速轉向這些發展中的新領域，攻城略地獨佔鰲頭！

因此，如何選擇尖端優秀的明日之星前來主持卡文迪什實驗室，以延續該室創新的光與熱，可說是對這些評選委員最大的挑戰與任務。

## 二、領域的經營

以卡文迪什來說，奠基時期的重要工作是接受大英科學促進協會的委託，進行各種電單位的測定，由於精確度高達 99.29%，後來連國際電工聯合會都予以採用。藉由標準的制定，首度打響卡文迪什在物理學界的名號。

接下來，適逢德國發現熱幅射及陰極射線、1895 年倫琴(W. K. Röntgen，德國物理學家)發現 X 光、1898 年居里夫人(Madam Curie，法國物理學家)發現元素銻與鐳的放射性，引發各國科學家關注並投入研究。卡文迪什如何進入德法兩國以「先行者」態勢建立的範疇呢？首先，湯姆森立即放下手邊氣體放電的研究，與學生盧瑟福投入陰極射線的研究，因而證明了電子的存在、發現 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射線。加上 1895 年開始改變研究生教育制度，打破劍橋原本只對英國本土招生的制度，同時招收英屬地及世界其他國家的學生，並首開先例招收女研究生。此舉不但將世界精英聚集在卡文迪什，加上前面提過的各種實驗室活動(午後茶時漫談、卡文迪什物理學會、晚餐漫談、年終聚餐等)，更讓來自世界各地的學生與研究人員擦出智慧的火花，營造出學門的活力與創造力。

盧瑟福接棒之後，以核物理為主要研究方向，更將科研的規模從小科學轉變成為以加速器為中心的機器化、多學科合作的大科學時代，將卡文迪什發展成「世界物理研究的主要中心」(Mott, 1986, 第 38 頁)。當時，量子物理與核物理並列為世界最重大的研究領域，而量子力學的主要靈魂—由玻爾所領軍的哥本哈根學派，與卡文迪什有非常密切的關係。前面提過玻爾是盧瑟福在曼徹斯特大學時期最親

近的助手，當他回到丹麥創立哥本哈根理論物理研究所後，盧瑟福也回到卡文迪什擔任教授。兩個實驗室間的交流十分頻繁，互相合作。例如，玻爾派迦莫夫(Gamow, George)到卡文迪什向盧瑟福介紹根據量子力學所提出的「核外勢壘隧道效應理論」，導致第一台加速器的發明。剛開始盧瑟福對於量子力學還不太放心，特別是對於不確定性關係的解釋看法相左，但迦莫夫的理论與應用實驗結果說服了他。而玻爾也在30年代初期轉向核物理的研究，後來提出了著名的「滴液模型」，並對原子彈試製發生興趣。這個時期，卡文迪什致力於人工打破原子核與元素的人工嬗變相關的實驗，也影響了身在羅馬的費米(Fermi, Enrico, 1938年諾貝爾物理獎得主)從理論物理轉向實驗物理的研究，利用減慢中子速度的方式證實了盧瑟福所預言的中子極大穿透性，也導致後來他在美國的原子彈發明。因此，盧瑟福的核物理研究，可說是造就核子時代的開端。

對於當時實驗室裡的研究題目，盧瑟福採取「集中管理」的模式，大部分研究生或助手的研究題目都要經過他的認可。有人說，他從不出一個無用或兩三年內完成不了的課題；一但決定了研究題目，他也會盡力創造條件，讓這個題目儘快做出成果。對於每個人的實驗進度，他也瞭若指掌——何時該做出成果、完成報告，都在他的計畫之中。雖然採取的是「緊迫盯人」的管理方式，他還是尊重研究人員自己的意志。比如說他休假時，其實是在考慮每個人下一步該做什麼；結束假期上班時，他會先徵求每個人的意見，並不會馬上把自己的想法塞給別人。假如學生或助手想的跟他不一樣，他會讓他們繼續摸索，直到一致；若仍然不一致，他也會再檢視自己的想法，經過討論後再定案。

到了布拉格繼任卡文迪什教授時，劍橋的核物理發展已經因為分散到其他大學，整體而言落在美國之後；加上以英國當時的國力與財力，發展大型加速器也已失去利基。因此，布拉格實行多方向的「草

根策略」(李仁芳, 民 82, 第 262 頁)—讓其他非核物理領域的研究(如分子生物學、射電天文學、金屬物理、晶體物理、超導體等)也有機會在卡文迪什播種、發芽,如同花園中繁衍的雜草一般,也有機會吸取養份得以滋長。事實證明這樣的策略奏效,特別是分子生物學與射電天文學領域,分別因為解出蛋白質與 DNA 雙螺旋結構,以及發現脈沖星、中子星和恆星演化等重大發現,共六人獲得諾貝爾獎,其影響力絕不低於核物理。

接下來,莫特上任,適逢第二次世界大戰之後,美國以其未受戰爭摧殘的經濟優勢,廣納不同種族的科學家,造成科技與經濟上的突飛猛進;而此時的英國早已不復昔日「日不落國」的風采。莫特因此再度採行「集中領導」的管理模式,將布拉格任內百花齊放的研究方向,進行聚焦與限縮:1. 因劍橋既沒有適合的地方可供建造,幅射污染與經費問題也是重要考量因素。因此,停止正在建造的高能加速器計畫,使得高能物理研究只得朝理論發展,並與歐洲核子聯合研究中心的實驗室合作。2. 分子生物學組因為出了四個諾貝爾獎得主而日益壯大,原來的空間不但不敷使用,更嚴重的是其他物理學家認為:這個學科是生物學的範疇,不屬於物理,而遭非議。於是,莫特找到醫藥研究委員會資助,建立分子生物學實驗室,從卡文迪什實驗室獨立分離出去。另外,也把結晶學組給停掉了。

1944 年電子計算機的發明、1947 年電晶管的發明、五 0 年代的積體電路發明,揭開了以微電子及資訊科技為中心的第三波科技革命序幕;而這些新科技的產生,也帶動全世界對於固體物理研究的需求。因此,莫特利用空出來的空間,支持射電天文學與固體物理兩大組。此外,也面向世界尋求合作對象,聘請國外學者,如美國貝爾實驗室安德森 (Anderson, P. W.)到卡文迪什擔任客座教授(這項合作導致莫特建立了非晶半導體理論,為半導體材料開拓新領域;後來與約瑟夫森(Josephson, Brian David)三人,先後因相關研究獲得諾貝爾物



理獎)；又成立了幾個與工業發展相關的新組別，包括與電子工業關係密切的電子服務部、與氣象觀測相關的氣象物理組、以及晶體實驗室、電子顯微鏡組、流體金屬組等，加強與工業界的關聯性，剛好搭上正在起航的微電子工業列車。

到了六、七〇年代，卡文迪什的半導體研究，比起美國貝爾實驗室已經處於劣勢，但凝態物理方面的研究卻方興未艾。因此，接任卡文迪什教授的派帕德迅速地把研究主力轉到凝態理論物理，並從曼徹斯特大學把在美國培養起來的愛德華茲(在劍橋大學岡維耶-凱思學院取得物理學士與碩士學位之後，於美國哈佛大學取得博士，並於畢業後到普林斯頓大學擔任高級研究員，受愛因斯坦指導)挖角到卡文迪什，主持這個新學科的發展，後來繼派帕德之後擔任卡文迪什教授。愛德華茲上任後，復又採取「集中領導」—將凝態物理研究(包括固態與液態)迅速地發展成為最大研究組，除了射電天文學、天體物理之外，能學、高能物理、風能等研究組進一步縮小，原來的固體物理研究也已進入凝態物理的範疇。

現任的弗倫德教授上任後，凝態物理漸漸轉進低溫、光電子與有機聚合物半導體等領域發展。特別是1996-1997年，將凝態物理做一個大幅度的整併，而加強微結構物理、微電子學、聚合物與膠體、凝態理論、共軛聚合物分子固體、光電子學等領域研究。現今的卡文迪什，雖仍以天文物理、高能物理、凝態物理為三大研究主軸，但以凝態物理為最大一支。弗倫德特別著重將基礎研究轉移至工業生產應用方面，因而以自己發明的新型有機聚合物 PPV 材料(這種聚合物通電之後，能因能量損失的程度不同而發出不同顏色的光，並可用液晶將它顯示出來，可用以製成薄片彩色電視)，創立「劍橋顯像技術公司」並擔任研發負責人。從研發經費看來，卡文迪什每年八百萬英鎊的研發經費當中，就有一百萬英鎊是來自產業界的捐助或合作案，可見其經營理念的轉變。

綜觀卡文迪什各時期對研究領域的經營方式各不相同，特別是從盧瑟福到愛德華茲擔任教授的這個區間，研究主題出現「收斂」、「發散」交錯的現象。這可能與教授的領導風格、當時大環境的條件等因素息息相關。例如：比較偏向民主領導風格的教授，該時期的研究方向便較為發散；而收斂的研究方向，往往出現在偏好集中領導的教授治理時期。而大環境的變動，包括戰爭、國家競爭力等因素，也會造成資源、人才的限制，間接影響研究領域的轉變。卡文迪什各時期的領域經營分析整理如下表：

表 4-2 卡文迪什實驗室各時期的領域經營分析

時期/期間	主要研究領域	領域經營特色	教授領導風格	背景因素 (含大環境條件)
麥克斯威爾 1871~1879 (8 年)	電磁學 電標準測量	小規模/私塾式	不明顯	實驗室剛成立，以教授擅長領域開始耕耘。
瑞利男爵 1879~1884 (5 年)	電標準測量	制定標準	不明顯	此時期以建立系統教學為重，研究方面沿襲前任作為。
湯姆森 1884~1919 (35 年)	氣體放電 原子內結構 發明聲納系統	1. 研究領域轉變 2. 廣納世界精英 3. 營造學門活力	民主作風	1. 研究領域轉變的原因：前兩任教授已完成電標準測量工作、X 射線的發現帶動輻射/放射線的研究。 2. 配合第一次世界大戰所需，發展聲納系統。
盧瑟福 1919~1937 (18 年)	核物理 (原子核人工嬗變、元素轉變)	1. 研究領域再次轉變並 <b>收斂</b> 於單一領域 2. 加強與其他學派的交流與合作	集中管理	1. 研究領域轉變的原因：對原子內結構的了解日豐，使科學研究從宏觀宇宙轉向微觀宇宙、研究工具(如加速器)的齊備。 2. 收斂與集中的原因：科研規模從小科學轉為跨學科、複雜化的大科學，須強勢領導方能成事。
布拉格 1938~1953 (15 年)	發明雷達 核物理 低溫物理、超導 電子顯微鏡 分子生物學 射電天文學	研究領域轉變為 <b>發散</b> 的研究方向	民主作風	1. 研究領域轉變的原因：劍橋的核物理發展已經因為分散到其他大學，整體而言落在美國之後、以英國當時的國力與財力，發展大型加速器也已失去利基。 2. 發散的原因：經歷第二次世界大戰，將實驗室舊有人才席捲一空，始能於戰後重新佈局，朝各種新方向試探與發展。

時期/期間	主要研究領域	領域經營特色	教授領導風格	背景因素 (含大環境條件)
<p>莫特 1954~1971 (17年)</p>	<p>固體物理 (金屬物理、半導體物理)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究領域再次轉變並<b>收斂</b>於單一領域</li> <li>2. 邀請國外學者前來擔任客座並加強人才培育</li> <li>3. 加強與工業界的關聯性</li> </ol>	<p>集中管理</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究領域轉變的原因：電子計算機、電晶管、積體電路的發明，使得固體物理的研究躍居現代科學的龍頭，莫特更是此一領域專家。</li> <li>2. 收斂與集中的原因：                         <ol style="list-style-type: none"> <li>a) 第二次世界大戰之後，美國以其未受戰爭摧殘的經濟優勢，造成科技與經濟上的突飛猛進，並早已超越英國，特別在建造加速器方面的領先。而卡文迪什空間、資源都有限，所以停掉原定的建造計畫。</li> <li>b) 分子生物學組日益壯大，排擠其他組別資源；特別是其他物理學家認為這個研究領域較偏生物學，非物理學，所以不得不分家。</li> <li>c) 莫特是卡文迪什非三一學院出身的教授，沒有包袱，敢於創新。</li> </ol> </li> <li>3. 邀請國外學者並加強人才培育的原因：世界大戰之後的科技發展迅速，特別是美國加入競爭，使得保守意識遭遇挑戰，若不改變某些不好的傳統框架，就無法延攬優秀人才；缺乏優秀人才，科學水準便被遠拋在後。</li> <li>4. 加強與產業關聯的原因：因應經濟發展、微電子工業發展所需。</li> </ol>

時期/期間	主要研究領域	領域經營特色	教授領導風格	背景因素 (含大環境條件)
派帕德 1971~1982 (11年)	固體物理(超導體) 凝態物理	1. 研究領域慢慢轉向凝態物理 2. 讓各大組按自己的傳統與想法運轉, 接近發散式經營	民主作風	1. 研究領域轉變的原因: 六、七〇年代, 卡文迪什的半導體研究, 比起美國貝爾實驗室已經處於劣勢, 但凝態物理方面的研究卻方興未艾。因此, 把研究主力漸漸轉到凝態理論物理。 2. 發散的原因: 派帕德非常欣賞布拉格的民主管理風格, 也儘量向他學習, 派帕德認為: 系主任與卡文迪什教授應該集中精神在全室重大方針與政策的擬定、對外的連繫, 以及財政等大原則; 其他的, 就讓各大組按自己的傳統與想法自由運轉。
愛德華茲 1984~1995 (11年)	凝態物理	研究領域完成轉變並收斂於單一領域	集中管理	凝態物理與材料在七〇、八〇年代發展迅速, 加上愛德華茲本人在此領域的專精, 所以聚焦於此。
弗倫德 1995~今 (9年)	凝態物理 (低溫物理、光電子、有機聚合務)	將基礎研究轉移至工業生產應用	不明顯	隨著影像科技的發展, 相關材料科學的需求日增; 加上知識經濟時代的來臨, 造成大學實驗室研發成果必須與產業界有更強的關聯性。弗倫德創立的衍生公司便是最佳註解。

【閻康年, 1999、本研究分析整理】

## 肆、人才的選擇與培育

### 一、人才的選擇

選擇好的領導人，是維持一個實驗室活力充沛、持續成長的重要關鍵。以卡文迪什來說，每位卡文迪什教授都經過「評選委員會」十分慎重地反復磋商，方能產生。其選擇的標準主要包括：1. 在該領域頂尖優秀、具有原創性的研究者；2. 學術地位或能力足以領導卡文迪什開拓新領域、能引起劍橋大學校內決策者對卡文迪什關注者；3. 特別是該學門具有崇高威望的守門人，受國內外研究者所敬佩景仰者；4. 具有理論物理或實驗物理方面深厚的涵養，並且能夠在實驗室裡將兩者完美地搭配、合作，創造重要的發現與發明。此外，也要具有管理、組織和培養人才的能力，能夠讓來到這個實驗室的人心悅誠服地賣力演出。

由於這樣高的選擇標準，有時並不容易找到適合的人選；如果短時間內物色不到，寧可將教授一職暫時擱置，先任命一位「執行室主任」或「主任」處理日常事務，等理想人選確定並正式任命後，才終止「執行主任」的任期。卡文迪什的歷史上便出現過三次這樣的狀況：盧瑟福去世後，由阿普爾頓(Appleton, E.V.)擔任執行系主任，待布拉格就任後他才轉任英國科學工業研究部負責人；布拉格退休後，先由拉特克利夫(Ratcliffe, J.A.)擔任執行室主任，直到莫特上任；派帕德主事期間，也曾因為行政業務繁忙，先後任命過柯克(Cook, A.)與愛德華茲擔任執行系主任。而愛德華茲接任教授後，由於卡文迪什發展成為十幾個大組的規模，管理工作益加繁忙，因而於 1989 年開始採行卡文迪什教授與系主任分權制度—卡文迪什教授專心負責學術研究，系主任擔任其他管理工作。

有趣的是，卡文迪什的領導人多半與該實驗室早有淵源；若不是那裡的畢業生，就是曾在那裡從事研究或教學：除了莫特(聖約翰學

院)與愛德華茲(岡維耶-凱思學院)之外，都畢業於卡文迪什所在的三一學院(Trinity College)；盧瑟福、布拉格、派帕德、弗倫德都曾在卡文迪什求學；湯姆森、派帕德、弗倫德則是由該室講師直接升任為教授。

除了領導人之外，卡文迪什還有一個重要的人才延攬策略——向世界招收學生與研究人員。從湯姆森改革招生制度後，將世界菁英、不分男女，為卡文迪什所用；盧瑟福更以其學術地位及個人魅力，吸引世界上最優秀的科學家前來；他為人坦誠、直爽，與助手及學生相處從不以教授或領導人自居，部份原因是他自己來自殖民地小國紐西蘭，因而特別照顧來自其他國家的年青人，如玻爾(Bohr, N.)、奧立芬特(Oliphant, M.)、卡皮查(Kapitza, P.)、張文裕、李國鼎等人。

貝爾納 (Bernal, J. D.)就說過：「由於盧瑟福本人的品格，所以他的實驗室吸收了物理學界從來不曾有過的，那麼多最優秀的人才在一起工作；其中就有一位丹麥青年尼爾斯·玻爾(N. Bohr)。」(Bernal, J.D.著，伍況甫譯，1981，第420頁)

玻爾自己則說：「盧瑟福的能力從來沒有比他在卡文迪什實驗室表現得那樣驚人，他在每一個方面都保持了這種光輝的傳統。他被他指導和鼓勵下工作的一大群熱情青年所包圍，並且為世界上最優秀的科學家們所追隨。」(Eve, 1939, 第319頁)

而下一任的卡文迪什教授布拉格，一直有「辛勤的園丁」封號，除了因為他在任內以民主的方式多方向地發展研究之外，他只要看到年輕人有好的想法，就會熱心地給予支持。例如：他從奧地利延攬了核物理與鈾核裂變現象提出者弗利希領導核物理組；請奧地利生物學家皮魯茲負責分子生物學組；接受美國的華森前來訪問而促成了與克立克共同發現DNA雙螺旋結構。到了莫特時期，也曾邀請美國貝爾實驗室的安德森前來卡文迪什擔任客座教授，後續的合作研究也造就

了莫特、安德森與約瑟夫森三人共同獲得諾貝爾獎。

如前面曾經提過的，晚近的卡文迪什由於英國本土的人才流失，讓他們更積極地向世界各地招收優秀的人才。例如愛德華茲擔任教授時，分別選擇了巴基斯坦、馬來西亞的科學家擔任微電子組、超導體組的負責人。後來，日本人更出了二分之一的資金為卡文迪什蓋了微電子學大樓，因而保留了一個研究組給日立公司的研究人員加入進行合作研究！

卡文迪什選擇學生的方式並不是憑考試的分數，而經過推薦與面試；透過交談，可以了解申請人各方面的表現，特別是進行原創性研究的能力。至於專職的研究人員，多從研究生開始經過層層篩選出來，其水準之高與競爭之嚴格可想而知。除此之外，他們也歡迎來自世界各國的博士後研究員、訪問學者、聯合研究人員，他們是根據研究項目或是教學需求被邀請前來的；部分訪問學者得到其他的贊助或基金，所以，卡文迪什並不需花費自己的資源，卻可得到這些精英貢獻少則 1-3 年、多則 4-5 年於此所做出的成果。

## 二、人才的培育

找到了好的人才，還要善加培育，方能誘發其創造力，貢獻於領域知識的累積。以卡文迪什來說，儘管招收研究生與研究人員時十分嚴格，但實驗室的教學、研究、設備等安排，仍以一般人員的水準加以設計、安排；因為他們認為：「實驗室必須是為平凡才智的學生而籌劃的，而一個好的實驗室卻會是平凡人成就偉大事業的地方。」(Larsen, 1962, 第 93 頁)。但是，在選題、研究方面則須嚴格要求，藉由上述傳統與學風的薰陶與訓練，尊重每個人都具有的創造潛能，以啟發學生與研究人員獨立研究的能力。

湯姆森對於紐西蘭來的盧瑟福十分欣賞，特別是他在無線電接收研究上顯現出來的創造潛力印象深刻。但湯姆森認為這個技術要應用



在商業上發展可能需要更多投資，而盧瑟福在電磁實驗上的突出表現若應用於氣體放電、陰極射線的研究十分有利。因此鼓勵他轉向這些方面研究，因而發現了電子及後續的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射線。

而盧瑟福自己擔任教授時選擇研究生，一定問學生想研究什麼問題、帶著什麼問題而來；假如學生準備充分前來，有成熟的想法，也適合在他的研究領域，他就會即刻答應。如果想法還不成熟，他就會讓學生先去綜合組做一段時間，期間必須自己找尋題目，確定時再與他商量，他會幫助學生在自己所喜好的基礎上找出能做出成果的題目。他十分重視學生與助手們所選擇的研究題目，所有人的題目都經過他確認之後方可進行。儘管如此，他並不強迫每個人都從事核物理領域的研究，還是以研究人員主要的興趣、特長為考量，並創造環境幫助他們取得成功。例如：他支持阿斯頓(Aston, Francis William)研究質譜儀，改進並發揮它的精密程度與檢定範圍，讓所有同位素都能透過這個儀器被檢測出來，終獲 1922 年諾貝爾獎。他也支持威爾遜進行雲室半自動化、宇宙射線及無線電探測工作；幫助阿普爾頓(Sir Edward Victor Appleton)的無線電物理及控測研究，導致大氣上電離層的發現。後來兩人都獲得過傑克遜講座教授的榮譽，阿普爾頓還獲得 1947 年諾貝爾物理獎。此外，他也支持蘇聯來的卡皮查從事高強度電磁場及低溫物理的研究，因而發現液態氦在低溫條件下的流動性；在卡皮查回國時，盧瑟福還送了一整套設備幫助他建立實驗室，後於 1978 年因低溫物理的研究成果獲得諾貝爾物理獎。

布拉格任內對於研究人員的支持也反映在這個小故事上：賴爾(Sir Martin Ryle)原本在雷達站工作，來到卡文迪什後，因為感到自己的現代物理知識不足，無法進行無線電研究而沮喪。此時，布拉格讓賴爾從事地外無線電訊號接收的研究，並不斷鼓勵他，使他後來獲得 1974 年的諾貝爾物理獎。第七任教授派帕德也有一個這樣的故事：他對於學生約瑟夫森發現電子穿透超導體之間勢壘的隧道效應雖不

甚了解，但仍支持並鼓勵他找這方面的專家安德森討論，並在做出成果之後支持約瑟夫森發表。後來，約瑟夫森與安德森雙雙因為這個發現而獲得 1973 年諾貝爾物理獎，反而身為導師的派帕德因認為這個點子不是自己的，未在論文上放入自己的名字，失去了獲獎的機會。

至於該如何培養學生獨立的研究能力呢？卡文迪什十分尊重學生自己想做的事、想問的問題。舉個例子來說，盧瑟福每次接受一個學生或研究人員，總是告訴他們：「你到這裡來，不是像你在中學那樣是受教育和被指導研究的，而是為自己學習、自己做出些什麼來；如果你來了之後，發現不能做這個課題，就到圖書館閱讀—自己去進行、自己教自己。」(Kay, 1963, 第 155 頁)。如果他問某一個人是否看過什麼書或資料時，不論是對或錯，只要能談出自己獨特的看法他都很高興，若是說不出自己的看法，他可就生氣了。盧瑟福帶研究生的方式，不希望他們做大而無當的題目，而是先讓他們做一系列可在短時間內完成的小題目；如此一個個完成，學生不但增加自己的自信，更可從中學習研究的佈局與脈絡。最後的博士論文，便是這一系列研究成果的彙總呈現。

至於實驗室領導人的培育，也是保持基業長青的重要課題；儘管前面提到卡文迪什傾向自己培養未來的領導人，但如何避免「近親繁殖」所造成的組織僵化，則採取「外放政策」—把自己培養出來的人往外送，讓他們到其他環境接受磨練，等時機成熟再回來主持大局。例如：從卡文迪什畢業的盧瑟福，先後任職於加拿大麥吉爾大學、曼徹斯特大學，建立了舉世關注的放射性研究學派，之後才回到卡文迪什，奠定該室以核物理研究成為世界物理研究中心的地位。另一位代表性人物則是布拉格，他繼盧瑟福之後出任曼徹斯特大學物理教授，在該校逐漸形成晶體研究學派，才回到卡文迪什擔任教授。盧瑟福的看法或許可為這樣的安排下一個最佳註解：劍橋培養的人才，應當先走出去，到別的地方工作，然後以自己的腳站起來，而不是依賴老師

和同事們的幫助成人。這樣既可以運用在劍橋學習到的知識和治學風格，又可以吸取其他地方的特點和特長，經過鍛鍊後再回到劍橋，對以後的發展大有好處。(閻康年，1999，第 235 頁)

## 第二節 台大藥理學教室 (即為現今的台灣大學醫學院藥理學研究所)

### 壹、基本資料

#### 一、時代背景與當時的教育體制

西元 1895 年，日本因甲午戰爭的勝利而取得台灣為殖民地，但當時的台灣因為民眾衛生習慣極差，是蚊蠅和各種傳染病滋生的「鬼介之島」(楊玉齡，民 91，第 37 頁)。為了方便統治這個瘴癘之島，日本人於 1897 年在台北病院內附設「土人醫師養成所」；1899 年，又將醫師養成所改辦為「台灣總督府醫學校」，招收公學校(小學)畢業的學生，接受一年預科與四年本科的訓練，畢業後，便可進入醫院擔任臨床醫師。不管是養成所也好，醫學校也好，日本人創辦這些學校的目的並非培養如其本國高級的現代醫學人才，而是為了訓練一批台籍醫師以應付島內層出不窮的疫病。因此，台灣「醫學校」畢業生的程度非但不如日本「醫學專門學校」畢業生；想要繼續深造、鑽研基礎醫學，也缺乏後續受教管道。除非，經由日籍教師的推薦，或許可以遠赴日本繼續深造。

#### 二、台大藥理的創建

因此，第十三屆醫學校第一名畢業的杜聰明，就在師長的推介下，於 1915 年自費前往日本京都帝國大學，1916 年開始，跟隨森島庫太教授研究藥物學；六年當中，共發表八篇原著論文。1921 年，杜聰明獲聘為「台灣總督府醫學專門學校」(1919 年自原「台灣總督府醫學校」改制)的藥理學助教授返台，隔年取得「第一個日本授予外國人的博士學位」並升任教授；在此之前，醫專的藥理學課程均由內科教授或藥局長兼任，並非由專門教授擔任。藥理學教室的奠基，開啟了台灣藥理學界的發展。

### 三、台大藥理創建的宗旨與性質

杜聰明秉持「樂學至上、研究第一」的治學態度創建藥理學教室，從一開始便認為藥物學必須立足於三項基礎學科：生理學、病理學、化學上。因此，藥理學教室非常重視邀請化學家前來從事藥物化學的工作，也鼓勵自己的研究人員到病理學、寄生蟲、生理學等教室去進修學習。即便至今，如此進行跨領域科技整合的研究方式，仍是件不容易的事。他更積極鼓勵台灣青年走入實驗室，從事基礎醫學研究，矢志將藥理學教室經營成世界一流的實驗室！

### 四、台大藥理各時期研究領域介紹

藥理學教室規模，從「台灣總督府醫學專門學校」時期的三個人，經過「台北醫學專門學校」時期到「台北帝國大學醫學部」時期增為三十餘人；再到台灣光復之後「國立台灣大學醫學院」時期逐步成立生理學研究所藥理組、藥理學研究所，八十三年內，總共培養了二百多位碩士及將近九十位博士畢業生，當中更包括了三三位中央研究院院士：李鎮源、張傳炯、歐陽兆和。

至於研究範疇，杜聰明一開始便為藥理學教室選定了三項主題：鴉片、蛇毒、中草藥，都是「由台灣青年來研究，會特別有利」的題材。果然，1929 至 1938 這十年內對於鴉片的研究輝煌無比，包括杜氏斷癮法、麻藥尿檢法、定量尿檢法、鴉片癮者死因等各項的發明或研究，不但發表了數十篇論文，就連當時的國際聯盟，也主動把這些論文或摘要翻譯成其他語文，送給世界各國參考，奠定了杜聰明在國際學術界的地位。而後續加入藥理學教室的李鎮源、歐陽兆和、張傳炯等人對於蛇毒的研究，更是創出享譽國際的輝煌成就，早在台灣產生經濟奇蹟之前，便已登上國際舞台，更開啟了台灣生命科學的發展。各時期的研究領域及重要成就整理如下表。

表 4-3 台大藥理學教室歷任所長、研究領域與重要成就

所長/任期	研究領域	台大藥理學教室重要成就
杜聰明 1921~1954 (33 年)	鴉片、蛇毒、中草藥	<ol style="list-style-type: none"> <li>鴉片藥癮研究方面，發明「漸禁斷療法」成功治療鴉片癮者，使鴉片吸食於台灣絕跡；完成世界唯一的孕婦癮者與新生兒健康調查報告；發明從尿液檢鴉片吸食的定性、定量方法，其檢驗原理直到今日仍被世界各國廣泛應用於禁藥檢驗。西元 1926 年並代表台灣出席於美國費城召開之「第一屆世界麻藥教育會議」，報告台灣鴉片癮管制現況，其演講內容還登上紐約時報。</li> <li>蛇毒研究方面，完成西元 1904~1938 年間台灣毒蛇傷人與死亡率的數據統計；利用動物實驗檢驗蛇毒對動物體各種生理機能的作用；將蛇毒應用於臨床疼痛之治療並取得日本政府專利許可。</li> <li>中草藥研究方面，進行生藥、中藥藥理研究，完成苦參子、魚藤、八角蓮、麻黃、木瓜葉、鴉膽子等有效成分和作用分析。其中木瓜葉的有效成分 carpain 可殺死赤痢原蟲，二次世界大戰不少日本士兵於叢林作戰便靠它撿回生命。</li> <li>西元 1939 年杜聰明當選「日本藥理學會會長」，並爭取到「第十三屆日本藥理學會」於台北召開，展現被殖民地的研究實力並獲得肯定。</li> <li>培養台灣第一代藥理學研究人才(39 名醫學博士)。</li> </ol>
李鎮源 1955~1972 (17 年)	蛇毒	<ol style="list-style-type: none"> <li>李鎮源接手管理藥理學教室，將蛇毒研究從「描述性」研究，轉向「機轉性」研究。</li> <li>探討神經性蛇毒的致死原因，張傳焜以電泳分離法由兩傘節蛇毒分離出<math>\alpha</math>、<math>\beta</math>、<math>\gamma</math>-Bungarotoxin(BuTX)三種毒素，並分析其作用部位與機轉。這種毒素-受體的觀念更影響後來生物醫學界對於細胞間及細胞內訊息傳導的研究。</li> <li>探討出血性蛇毒毒素中凝血酶對血液凝固及血小板凝集之影響，研究成果發表於當時著名的血栓雜誌(<i>Thrombos. Diathes. Haemorrh.</i>)。</li> <li>西元 1947 年開始招收碩士班學生、1967 年開始招收博士班學生，培育更多藥理學研究人才。</li> <li>李鎮源、張傳焜獲「教育部醫科學術獎」；李鎮源獲選中央研究院院士。</li> </ol>

所長/任期	研究領域	台大藥理學教室重要成就
歐陽兆和 1972~1978 (6年)	蛇毒	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 延續蛇毒研究，李鎮源於西元 1972 年應美國科學年鑑出版社之邀，撰寫「蛇毒蛋白之化學與藥理學」文章，發表於當年度「藥理學年鑑」；1976 年更獲頒國際毒素學會最高榮譽 Redi 獎、應德國史賓格出版社之邀，主編「蛇毒(Snake Venoms)」巨著；1977 年獲選為美國藥理學會榮譽會員，奠定他在蛇毒研究方面的世界權威地位，成為名符其實的「蛇毒大師」。</li> <li>2. 此時期多篇論文刊登於世界一流雜誌如 <i>Nature</i> 等。</li> <li>3. 歐陽兆和獲「教育部醫科學術獎」；張傳炯獲選中央研究院院士。</li> </ol>
張傳炯 1978~1984 (6年)	蛇毒	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因為神經傳導物質受體的成功分離與純化，使得曾困擾醫界多時『重肌無力症』的病因終於真相大白，並証實為一種自體免疫疾病（身體的抗體破壞了神經傳導物質受體而影響了神經對肌肉產生刺激作用，結果肌肉無法收縮）。</li> <li>2. 西元 1981 年爭取「國際神經藥理研討會」於台北舉行。</li> <li>3. 中華藥理學會成立，李鎮源擔任理事長、鄧哲明擔任總幹事。</li> <li>4. 歐陽兆和獲選中央研究院院士。</li> </ol>
蕭水銀 1984~1990 (6年) 鄧哲明 1990~1996 (6年) 蘇銘嘉 1996~2002 (6年) 黃德富 2002~今 (2年)	神經傳導、 重金屬與環 境毒物、中 樞神經系統 藥物、心臟 藥理、細胞 內訊息傳 導、中草藥	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究領域漸漸轉離蛇毒，朝向神經傳導、重金屬與環境毒物、中樞神經系統藥物、心臟藥理、細胞內訊息傳導、中草藥等方向發展。其中，出血性蛇毒之抑制血小板凝集與抗凝血作用提供研發抗血栓藥物發展的基礎。黃德富對於赤尾鮫毒蛋白的研究，促成「去組合蛋白理論(Disintegrin concept)」的發展，且應用在癌症轉移與治療相關研究上，受到國際大藥廠的矚目。</li> <li>2. 西元 1985~1988 年，李鎮源擔任「國際毒素學會會長」。</li> <li>3. 李鎮源、鄧哲明獲頒「行政院傑出科技榮譽獎」；鄧哲明獲頒「教育部醫科學術獎」；黃德富、符文美獲頒「中山學術獎」；黃德富獲頒「十大傑出青年」。</li> <li>4. 李鎮源、鄧哲明分別擔任「第八屆亞太藥理學大會」榮譽會長、會長。</li> </ol>

【本研究整理】

## 貳、傳統與學風

與卡文迪什實驗室相同的，台大藥理學教室也承襲著從創辦人開始便樹立起來的優良傳統：

### 一、從事研究的動機

愛因斯坦曾說：「我們所能體驗到的最美好最深邃的情緒，乃是對於神秘的驚奇感。這種驚奇感乃是一切真正科學的播種者。如果一個人對於這種情緒感到陌生，如果他對於神秘的事物皆不感到驚奇而只是凜然兀立，這個人可以說是雖生猶死了。」這句話，道出了全世界從事科學研究者心底的意念。

台大藥理學教室裏便充滿了這樣強烈求知欲望的典範—從杜聰明到李鎮源，兩個人都是醫學校、醫專畢業生，原本應該進入醫院或自己開業擔任醫師，從事待遇、社會地位都高的臨床工作，但他們卻放棄了！選擇了從事基礎研究這樣吃力不討好的工作。

杜聰明是因為小學時期受到一位業餘礦物學家岡本要八郎(第一位發現「北投石」的人)以及偉大科學家(特別是科霍與巴斯德)傳記的啟蒙，對於科學研究所展現的實證特質深深著迷，並因此在心理種下「將來也要做學者」的念頭。

而李鎮源也是如此，因為他覺得：雖然開業錢賺得多，卻無法一整天「浸」在實驗室裡做自己想做的事；而開始蛇毒機轉的研究，也是因為他覺得前人所做的描述性研究只是「知其所然，但不知其所以然」，以他喜愛追根究底的個性當然無法滿足。後來對於年輕醫學生投入基礎研究一年年減少的情形，他認為：科學研究本來只是好奇、探索未知所引發的，並非唯有實用才是有價值的；若只是以現實利益來考量某研究是否有意義，「大部分研究都沒有理由存在了！」(李明瑱、林靜靜，民91，第52頁)。



六〇年代，台灣的生活水準仍低，從事基礎研究的學者，過的是十分貧苦的生活，還得煩惱家裡有沒有米可以吃。張傳炯便曾提到，當時薪水差、又沒有國科會或其他單位的補助，曾好幾次想離開；因為，憑著他化學系的文憑，可以在好多民間企業找份好一點的差事！但他並未離開的原因是：「一來可能是由於研究室裡的那種氣氛，因為我們都是屬於研究類型的人。再來，應該就是那股不斷有成果做出來的感覺吧！」(楊玉齡、羅時成，民 85)果然，杜聰明所說的「樂學至上、研究第一」，已成為台大藥理的座右銘，每一位藥理人都把從事研究作為自己終生追求的志業看待。

## 二、求實與批判精神

台大藥理更是將這種精神貫徹無疑，杜聰明認為：研究首重實驗之精確，以及觀察之銳利(楊玉齡，民 91，第 122 頁)；他曾說過：「假使實驗有錯誤而拿來發表，不但搗亂學術，後來的人恐怕不知要用多少論文和多少倍的努力來訂正，才可消滅這個假的學理。」(劉美明，民 75)

繼任的李鎮源對於這一點也同樣堅持，他的學生林琬琬這樣描述：「他對實驗數據的判讀十分嚴謹，而論文撰寫更要求完美無缺，他審稿時細心且耐心，因此任何細微的錯誤及瑕疵，都難逃他的法眼。」(李明瑱、林靜靜，民 91，第 202 頁)；另一位學生鄧哲明也說：「李教授對論文發表之要求很高，在未完成足夠實驗前不輕易發表，也要求門生如此。在撰稿時亦反覆修改，尤其英文用詞均逐字推敲。」(李明瑱、林靜靜，民 91，第 269-270 頁)

而張傳炯不論是從事研究或其他活動，一向秉持嚴謹的態度從事研究，一切講求有憑有據；中央研究院院士陳建仁便提到，在他任職國科會生物處處長時，與張傳炯一起從事生物醫學期刊問卷調查的情形：「當時，我拿著電腦統計分析的資料和張老師討論，他逐一核

對每一數據，對於拒絕回答和資料不全的少數缺漏人數，都詳細詢問清楚。張老師的嚴謹縝密，讓我深受感動。」<sup>3</sup>

談到批判精神，李鎮源可說是最具批判性的代表，他絕不無條件地接受前人見解，特別是在做研究上的懷疑態度；他的學弟彭明聰（後來任教於台大生理學科）就這樣指出：「別人怎麼說，文獻怎麼說，他都不會完全接受。這點對於做學問很要緊，因為你若是聽到什麼都同意，學問是不會進步的。」（楊玉齡、羅時成，民 85，第 101 頁）以下一連串的故事忠實地描述了他的理念與做法。

1944 年，李鎮源做出了一篇十分出色的研究報告，主題是探討台灣產鎖鏈蛇蛇毒的致死原因。他分離出至少兩種致死成分——一種會讓血液凝固，導致血栓、另一種會引起血管擴張，使血壓降低；因為前者作用較快，所以是鎖鏈蛇主要致死原因。這個結果推翻了日本學者原先認為「台灣鎖鏈蛇毒為神經毒」的說法。可惜的是，這篇論文當時並未投稿到國際期刊去發表，以致戰後讓一位印度學者以相同方法做出同樣的結果，卻刊登在國際學術刊物上而搶走了第一位發現者的風采。也因為這件事，加深李鎮源「科學必須國際化」的想法。

而五 0 年代末期，李鎮源開始對神經性蛇毒產生興趣。根據文獻記載，人被雨傘節或眼鏡蛇咬到之後迅速死亡，是呼吸中樞麻痺之故，他很想驗證這個說法到底對不對，但藥理學科並沒有進行這種實驗所需要的電生理學技術。於是，他跑去找彭明聰一起合作。假如死因真是由於中樞神經麻痺，那麼，將蛇毒直接注射到動物腦中，致死量應遠低於皮下或靜脈注射的量。當他們將十分之一的蛇毒打入動物腦裡，卻發現死亡時間不如預期中迅速，顯然前人的理論有問題。此外，他們又發現：當實驗動物毒性發作時，呼吸漸弱，但從腦所傳下至橫隔膜的中樞神經訊號卻變強，且呼吸越弱信號越強。這個結果證

---

<sup>3</sup> 國立台灣大學醫學院藥理研究所 編(民 89)，張傳燭教授榮退紀念錄，台北：國立台灣大學醫學院藥理研究所，第 15 頁。

明了：實驗動物的呼吸麻痺，並非因為中樞神經麻痺，而是因為末梢神經麻痺所造成的。

後來，張傳炯自兩傘節蛇毒中，分離出四種成分：乙醯膽鹼酯酶與 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 兩傘節神經毒素(Bungarotoxin, BuTX)。進行活性測試的結果發現：乙醯膽鹼酯酶並不具毒性，其餘三種則對神經肌肉傳導運動具有不同形式與程度的破壞。進一步研究發現： $\alpha$ - BuTX 作用部位在運動終板(motor end-plate，神經與肌肉交接處)，和南美箭毒同屬腱後神經毒素，可與乙醯膽鹼(神經傳導物質)受體形成不可逆結合而阻斷神經傳導；但此時乙醯膽鹼酯酶仍有分解乙醯膽鹼的活性存在。至於 $\beta$ 、 $\gamma$ - BuTX，屬於腱前神經毒素，作用在腱前部位運動神經末梢，可以抑制乙醯膽鹼的釋放。

當時的學界流行一種說法：認為乙醯膽鹼受體與乙醯膽鹼酯酶是同一個大分子，法國巴斯德研究所的姜吉爾(Changeux, J.P.)教授還撰寫了一篇評論談及此事。但李鎮源與張傳炯的實驗已經證明： $\alpha$ - BuTX 可與乙醯膽鹼受體結合，對乙醯膽鹼酯酶卻無抑制作用，顯然這兩者是不同的分子！因此，1970 年，李鎮源自掏腰包前往法國，將 $\alpha$ - BuTX 實驗結果帶去拜訪素未謀面的姜吉爾教授。起先，姜吉爾的反應當然是不相信，後來台大藥理寄給他 $\alpha$ - BuTX 樣品進行驗證，結果證明台大藥裡的說法正確。姜吉爾雖然感到意外，卻也感謝李鎮源及時糾正了他們的研究方向；後來，雙方便共同發表了一篇論文，更正他原先的論述。由於當時姜吉爾已是國際知名學者，這一番作為引起世界關注。隨後，李鎮源將研究成果帶往歐美等國演講，自此打響台大藥理的名號！

### 三、民主討論和自由交流

在台大藥理，學術演講與定期舉辦的書報討論會，是自由討論的好時機，特別是訓練學生的邏輯思考能力；而研究領域相近的老師

之間，也常常有聯合討論會。但是，可能囿於東方人較為拘謹的個性與尊師重道的道德觀，討論會上還是以老師輩的討論較為熱絡，學生經常是被點名問問題時才不得不發言。為此，張傳焜還想了個辦法，要學生把問題寫下來，不一定要當場說。台大藥理還特別注重與不同學科、臨床醫師間的交流與討論，比如說與生理學科、生化學科的交流與合作；聘請臨床醫師擔任教師等等做法。

不過，與世界頂尖研究者間的交流可就十分頻繁，從杜聰明赴歐美等國遊歷，以及與日本藥理學界的互動開始，到李鎮源與美國韋恩州立大學(Wayne State University)的西格斯(Seegers, Walter H.)教授實驗室建立長期合作的關係，以及後來主動訪問巴斯德研究所姜吉爾教授、積極奔走於世界重要研討會與實驗室，台大藥理與各國學者間經常地寫信、討論或交換意見，更常收到國外寄來各式蛇毒樣本，請求協助或合作。

至於非正式的交流活動，台大藥理於杜聰明在世時，每年舉辦一次「牧樟會」，所有由這裡出去的人，都會回來團聚，使得大家有種強烈的榮譽感。每個人出外都彷彿代表了藥理學教室，他的成就或失意，都與藥理學教室息息相關；在外遇到困難，整個實驗室會作你的後盾，支持你！（楊玉齡、羅時成，民 85，第 247-8 頁）。可惜，杜先生仙逝之後沒幾年，這樣的活動便停辦了。可能是因為年輕一代缺乏參與，感受不到這樣的氣氛所致。

#### 四、動手做

在台大藥理，張傳焜是這種「動手做」的典型人物。在沒有自動滴定儀器的當時，為了測定蛇毒當中乙醯膽鹼酯酶的活性，他利用從別科借來的酸鹼計，自己動手設計了簡單的滴定裝置，建立後來改變姜吉爾教授理論重要發現的基本實驗方法與設備。

之後，他想採用當時新發展出來的「帶域電泳法(zone

electrophoresis)」分離蛇毒中的成份(當時還沒有人把這種技術運用在蛇毒分離上)。可是，當時實驗室裡根本沒有這種設備！於是他自己設計儀器圖樣，請研究室裡的玻璃工照著做幾只玻璃槽，加裝供電裝置後，便成了最原始而簡易的電泳槽；接著用廉價的馬鈴薯澱粉當做基質，加上供電裝置，就可以開始分離複雜的蛇毒成份啦！開始進行實驗後，因為每道手續都很複雜，包括：馬鈴薯澱粉要先清洗數次後才能放入冰箱固定；每跑一次四十公分長的分離管柱需要三十六小時；跑完後還得把澱粉柱取出，切成一公分長的小段，分別放入試管裡萃取內含物。整個流程大約要花去一個星期的時間，比起現今最先進的設備只要數十分鐘就可完成，真是天壤之別！

後來，張傳炯還到日本東京大學訪問，想要學習電生理學，但日本教授似乎傳授的意願不高，前幾天都帶著他到處玩、喝茶、聊天，直到最後一天才讓他參觀實驗的進行，但也是隨便表演一下就草草結束。沒想到，他回來之後，自己東摸摸、西弄弄，還用自己的照相機充當紀錄器，居然也完成了類似的裝置，做出想要的實驗結果！

在物資極度缺乏的當時，張傳炯堅持「材料都是盡量用最不花錢的」，動腦而不必花大錢，屢屢突破困境做出世界一流水準的成果。

## 五、結合教學與研究

台大藥理從純研究起家：當時的醫專畢業生進入藥理學教室，僅單純從事研究工作；若要申請博士學位，則必須將研究成果送到日本的大學通過評審方能授與。由於鴉片研究的輝煌成果，從 1929 年到 1938 年，吸引不少優秀的人才加入；而優秀門生的加入，又造就更豐碩的成果！特別是第一位學生邱賢添的論文通過京都帝大考核取得博士學位後，台大藥理學教室便成為優秀醫專畢業生嚮往的地方；1930 年起，平均每年都有四、五名以上的學生加入，人氣扶搖直上。1936 年，醫專改制帝大醫學部；一年後，藥理學教室也順利

搬遷到新空間，加上可以自己頒授博士學位，才有研究生的養成，並挑選優秀者留下擔任教師(如李鎮源、彭明聰)。總計從醫專到帝大，杜聰明共培養了 39 位醫學博士。隨著師資的增加與新藥理系館的成立，1945 年之後的授課內容包括藥理學、治療學、處方學及中國醫藥史學等。

二次大戰之後，才開始進行醫學院學生的大班教學，授課對象從醫學系學生漸漸擴及藥學、護理、牙醫等系。期間因為師資不足，亦由碩士班學生(鄧哲明、黃敏哲、黃慧貞、蘇銘嘉、黃德富等人)擔任助教的工作，不少人日後也得以留任擔任教師。1954 年至 1972 年間，正值雨傘節神經毒素的研究揚名國際，藥理學的課程中，除了中樞神經用藥，自主神經系統用藥與乙醯膽鹼受體阻斷劑，也佔了很重的份量。

研究所課程方面，1947 年台大醫學院成立生理研究所，下設生理、藥理與生化三組，開始招收碩士班學生。1962 年藥理學研究所正式成立，1964 年開始開課，內容包括專題討論、專題研究、藥理學、實驗藥理學、血液凝固學、循環生理學等課程。1968 年方開始招收博士班學生，此時也是蛇毒研究邁向巔峰的開始。

## 參、研究領域的開拓與經營

### 一、領域的開拓

杜聰明在研究選材上，被認為是非常具有遠見的。他為藥理學教室選定的三大主題—鴉片、蛇毒、中草藥，都是台灣研究者具有利基的項目：鴉片在當時危害台灣人民健康甚深，但歐美各國無此問題，故未投注太多研究資源；蛇毒的研究也是如此，位居亞熱帶的台灣，十分適合蛇類繁殖，同樣危害人民安全，特別是藥物、毒物學方面的研究以往少人涉及；而中草藥研究更是漢醫藥獨有的領域，歐美

科學家較難切入。正所謂「選題正確、事半功倍」(楊玉齡、羅時成，民 85，第 17、335 頁)，三項主題當中，除了中草藥囿於其他主、客觀條件限制無法獲得發展外，都能取得相當亮眼的成績，並揚名世界。

但是，鴉片禁絕之後，此一範疇的研究便進入尾聲；蛇毒研究，也在明瞭了大部份生理、藥理現象之後，漸漸轉往分子層次發展，與細胞訊息傳導方面的應用較為相關，已經跳脫傳統的蛇毒研究了。藥理學教室的三大招牌源泉，其中兩支隨著哲人遠去，亦趨枯竭，只剩下初期沒有機會好好發展的中草藥，似乎仍具有某些研究潛力。因此，下一階段該選擇哪一個(或那些)研究領域，將是藥理學教室能否持續創新的重要關鍵之一。

## 二、領域的經營

台大藥理，採取「向先進國家學習技術」與「爭取國際合作與參與」兩種方式經營鴉片與蛇毒兩個研究領域。

首先是「向先進國家學習技術」方面，從 1925 年杜聰明赴美國、加拿大、德國、丹麥、瑞典、英國、法國等國留學兩年半，拜訪了數位藥理學界的重量級人物，包括 1920 年諾貝爾獎得主克羅伊(Krogh, Schack August Steenberg)、1923 年諾貝爾獎得主班定(Sir Frederick G. Banting, 發現胰島素)、結核病特效藥發明者莫加德(Mollgard, Holger)等人，學習血糖微量定量法、藥物代謝、生藥學、組織培養等新技術。

1952 年李鎮源也赴美國賓州大學、底特律韋恩州立大學，學習血液循環方面的研究技術，並開啟後續與韋恩州立大學西格斯教授實驗室長期合作關係。1958 年，李鎮源再次出國，目的地為英國牛津大學藥理學教室，跟隨布柏玲(Bübring, Edith)博士學習利用橫隔肌研究神經突觸的方法。

1959、1966 年歐陽兆和赴西格斯教授實驗室，進行血液凝固方面

的研究；1962 年張傳焜赴美國國家衛生研究院化學藥理研究室，學習交感神經系統方面的研究與放射線同位素的操作等技術。

更後期的蕭水銀是在美國攻讀博士學位後回藥理學教室服務，鄧哲明、蔡明正、黃德富、黃慧貞等人都曾赴美國進行博士後研究，再回到藥理學教室繼續研究生涯。

至於「爭取國際合作與參與」方面，除了上面提到的合作關係之外，台大藥理一直非常積極地參與各種國際性學會，並爭取重要會議來台舉辦。

早在杜聰明時期，1926 年出席美國費城舉辦的「第一屆世界麻藥教育會議」並發表演說，介紹台灣鴉片公賣漸禁制度，還登上紐約時報的新聞。1939 年他又被推舉為「日本藥理學會會長」，同年於台北主辦「第十三屆日本藥理學會年會」，會議不但辦得有聲有色、賓主盡歡，他更發表了「台灣產毒蛇的傷害統計」與「台灣產毒蛇的毒物學研究」兩場演講，配合自己設計的一個巨大旋轉式圖表解說，令與會者留下深刻印象。

而李鎮源更是「用腳走出台大藥理的名氣」(楊玉齡、羅時成，民 85，第 243 頁)，自從主動拜訪法國巴斯德研究所姜吉爾教授，挑戰其理論成功並共同發表一篇論文後，受到國際矚目；接下來他更積極地參與國際學術會議，並走訪相關研究室發表演講、與其他研究者交換心得。從 1975 年開始連著十年，他幾乎每年擔任至少一場國際會議的主席或主講者！接著在 1981 年爭取「國際神經藥理研討會」於台北舉行，1985~1988 年，李鎮源擔任「國際毒素學會會長」，1999 年李鎮源、鄧哲明分別擔任「第八屆亞太藥理學大會」榮譽會長、會長，該次大會亦於台北舉行。

肆、人才的選擇與培育



## 一、人才的選擇

台大藥理早年的領導人產生方式，則不像卡文迪什，係由一個專門的委員會，經過詳細討論、分析未來發展後訂出候選人標的；而是從實驗室裡，挑選較出色的人加以培養，成為未來的接班人。比如說，杜聰明由於自己的努力成為該室的奠基人；接下來的李鎮源是台北帝大醫學部第一屆畢業生中少數的台籍青年，杜聰明的鼓勵讓他毅然投身研究，並成為光復前台北帝大唯二的台籍助教授。當杜聰明在戰後漸漸轉向各式政治事務並擔任要角，自然由旗下大將李鎮源接手藥理學教室。後來接棒的張傳炯、歐陽兆和、蕭水銀，也都是發展中的重點領域主要負責人。

台大藥理一向奉行「全體成員皆由本室養成」的觀念(楊玉齡、羅時成，民 85，第 168 頁)，所有的人才都是自己訓練出來，即使早年依賴日本大學頒發學位，但研究與論文仍然是在藥理學教室完成後才送到日本申請的。

## 二、人才的培育

至於如何培養實驗室人才的獨立研究能力，在台大藥理對於研究選題，除了配合整個實驗室的走向之外，更重視學生的專長與興趣。從杜聰明擔任領導人時是這樣做的：雖然當時鴉片是實驗室裡最主要研究方向，但對於一些已有專長的學生，會依他們的專業來定題目。例如一位開業的婦科醫師高敬遠，選做的主題大都與婦科有關，如子宮、臍帶荷爾蒙、婦女月經統計等研究；另一位齒科醫師小林靜夫則做了許多吸食鴉片者口腔狀況、嗜食瓜子者齒牙咬耗症、台灣人與番人(原住民)齒牙硬組織比較等研究。(楊玉齡，民 91，第 155 頁)

由於前面提到堅守「全體成員皆由本室養成」的原則，但又要避免井底觀天的可能缺憾，台大藥理採取將研究人員外送到世界各國受訓的方式，以增加他們的歷練、提升競爭力。從早期的杜聰明、李

鎮源、歐陽兆和、張傳炯，都曾赴美國、歐洲等地的實驗室進行短期研究或擔任訪問學者，蕭水銀是碩士畢業後赴國外取得博士學位；到後期的鄧哲明、蔡明正、黃德富、黃慧貞等人，也都在取得學位後出國接受博士後研究的訓練，再回到台大。