

珊瑚礁生態研究

文／戴昌鳳（海洋研究所教授）

初次接觸珊瑚礁的人，總會被珊瑚礁生物光鮮亮丽的色彩和複雜奇特的造形所吸引；然而，除了賞心悅目的觀賞價值之外，珊瑚礁也是一個充滿學術奧秘的生態系。它是地球上生物多樣性最高、生物量最豐富的生態系之一；在這個生態系中，生物之間的交互作用頻繁，各種微妙的種間關係和適應機制，都隱含著生態和演化上的重要意義。

台灣四面環海，處於熱帶和副熱帶之間，沿岸海域的海水溫暖，適合珊瑚生長，因此，在周圍海岸的礁岩底質上，大都有珊瑚分布。而這些由三百種以上的造礁石珊瑚、軟珊瑚和柳珊瑚構成的珊瑚礁生態系，不僅是重要的觀光資源，也維繫著沿岸漁業資源的繁衍，對於海洋生態系的平衡發展，以及海洋和陸地的交互作用，都扮演著重要角色。

台灣大學的珊瑚礁生態系研究，最早可追溯自台北帝國大學時期動物學系的川口四郎博士，他是全世界首先從珊瑚組織中分離出共生藻，並且培養成功的學者[1]，也是第一位描述珊瑚大量排卵生殖現象的人；在當時簡陋的環境中，川口氏完成了許多重要的研究，奠定了後來珊瑚礁研究的基礎，他的卓越學術成就，使他於1988年獲得第一屆達爾文獎章（Darwin Award）的殊榮，這是國際間珊瑚礁研究的最高榮譽。

台灣光復初期（1943—1959年間），本校地質系馬廷英教授有關石珊瑚生長速率的研究蜚聲國際。馬教授首先提出造礁珊瑚的生長速率能反映海水溫度變化的理論[2]，他分析珊瑚骨骼的年生長輪紋，並且利用化石珊瑚的生長速率來重建古海水溫度和古緯度，以支持他所大力提倡的大陸漂移學說；後來，大陸漂移學說和板塊構造理論終於被廣泛接受，而成為二十世紀的重要學術成就。馬教授的珊瑚研究則開啓了1980年以後的全球變遷研究熱潮中，利用珊瑚骨骼來重建古氣候變化模式的先河。

台灣大學海洋研究所在成立初期，即與美國夏威夷大學和關島大學的學者合作進行台灣南部珊瑚礁生物的調查研究[3]，首先引進水肺潛水裝備於海洋生態的研究。其後，本所研究人員陸續完成了小琉球、台灣北部及東北部、澎湖、綠島、蘭嶼、東沙及南沙太平島等海域的珊瑚礁生態調查，建立了我國海域珊瑚礁生態的基礎資料，也增進國人對我國海域生物資源的瞭解。在這些生態調查的基礎之上，近年來，我們開始對珊瑚礁生態進行比較廣泛而深入的研究，包括：珊瑚的生殖生態學及族群遺傳、珊瑚的生物力學、軟珊瑚的天然物等。

珊瑚集體生殖的現象是自然界的奇觀之一，以台灣南部墾丁海域的珊瑚為例，每年農曆3月15至22日的晚間，都有數十種珊瑚集體進行生殖活動，各種珊瑚把千萬顆各種顏色的精卵團排放到海水之中，把幽暗的海底點綴成璀璨的星空。這個精彩的生命現象，每年都很精準地於同一時間上演。我們在經過兩年的密集追蹤調查之後，首先報導了這個奇特的生命現象[4]，並且探究它的調控因子。珊瑚的體制構造非常簡單，沒有複雜的神經系統和記憶能力，然而卻能非常準確地每年在同一時間進行生殖活動，這種現象的背後，顯然隱含著複雜的控制機轉。一般認為珊瑚的生殖活動受到三種週期，也就是年週期（水溫的季節性變動）、月週期（潮汐週期）、和日週期（日夜間的光度變動）等的調控。大多數的學者認為，海水溫度的高低是決定珊瑚生殖時間的重要因子，然而，我們的研究指出，水溫並非唯一的決定因子，地區性的環境因子及珊瑚長期的生態適應，也扮演著重要角色[5, 6]。

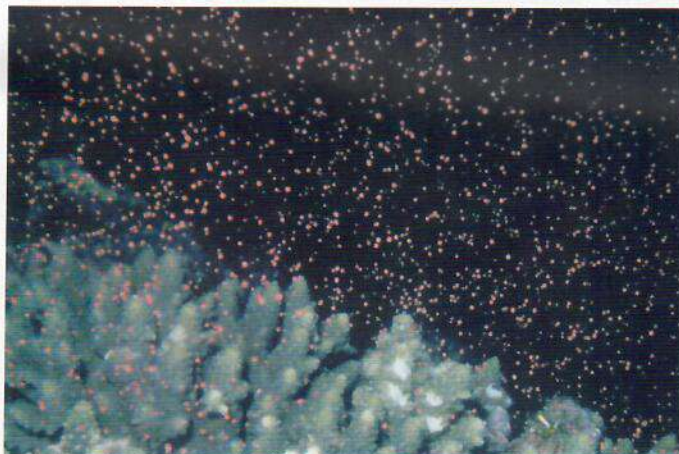
在研究珊瑚生殖的過程中，我們發現台灣南部的某些種類珊瑚有兩個生殖族群，牠們分別在初春和秋季生殖，我們報導了這個發生在同一地區，同種珊瑚的生殖隔離現象，並且探討牠們的族群遺傳分化情形，發現兩族群之間已經有明顯的遺傳分化，很可能是一個同域種化（sympatric speciation）初期的現象[7]。

珊瑚生殖所產生的幼蟲，隨著海流而散布，因此，一般認為珊瑚族群的遺傳結構是很均質的，而且其遺傳距離和地理距離有密切的關係。然而，我們研究台灣海域的斜花珊瑚遺傳結構時發現，恒春半島和澎湖海域的地理距離不及一百公里，然而，兩地之間珊瑚族群的遺傳距離，卻比恒春半島與台灣東北角海域珊瑚的遺傳距離來得遠，這種現象指出，海洋中隱形的隔離機制，也就是海流或水團的差異，比地理距離的影響更深遠[8]。我們的研究也顯示出，台灣的海洋生物大致可以分為台灣南部至東北角及澎湖至北部等兩大區系。其中台灣南部至東北角海域的海洋生物主要受到黑潮的影響，而澎湖至北部海域的海洋生物則受到南海和東海水團的影響。

海洋天然藥物的開發研究是國際間相當活躍的領域。生活在淺海的軟珊瑚體內，含有豐富的活性化學物質，能抑制癌細胞或腫瘤細胞的增殖，牠們是潛在的藥物資源。近年來，我們與中山大學海洋資源系的研究人員合作，已經從軟珊瑚體內分離出許多活性物質[9, 10]，這些物質也許會成為人類未來對抗疾病的

藥物資源。

台灣沿海擁有非常豐富的珊瑚資源，形形色色的生物和複雜特殊的生命現象，可以提供生命科學各領域許多良好的研究題材。我們對台灣海域珊瑚的研究只是一個開端，期待未來有更多、不同領域的學者投入珊瑚礁生物的研究，使國人對台灣海域生物資源的瞭解更充實，使我們對自然界的生命現象多一分讚賞和尊重。Ω



↑ 珊瑚礁具有很高的生物多樣性和生產力，是海洋中的綠洲。

↓ 軸孔珊瑚排放精卵團的景觀。

→ 竹珊瑚富含活性天然物質，是潛在的藥物資源。

參考文獻

- [1] Kawaguti, S. (1944) On the physiology of reef corals. VI. Study on the pigments. Palao Trop. Biol. Stat. Studies 2 (4): 617-673.
- [2] Ma, T.Y.H. (1959) Effects of water temperature on growth of reef corals. Oceanographia Sinica, spec. vol. 1, 116 p.
- [3] Jones, O.A., R.H. Randall, Y.M. Cheng, H.T. Kami and S.M. Mak (1972) A marine biological survey of southern Taiwan with emphasis on

corals and fishes. Institute of Oceanography, National Taiwan University, spec. publ. 1, 93 p.

- [4] Dai, C.F., K. Soong and T.Y. Fan (1992) Sexual reproduction of corals in southern and northern Taiwan. Proc. 7th Int. Coral Reef Symp. 1:448-455.
- [5] Fan, T.Y. and C.F. Dai (1995) Reproductive ecology of the scleractinian coral *Echinopora lamellosa* in northern and southern Taiwan. Mar. Biol. 123: 565-572.
- [6] Fan, T.Y. and C.F. Dai (1999) Reproductive plasticity in the reef coral *Echinopora lamellosa*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 190:297-301.
- [7] Dai, C.F., T.Y. Fan and J.K. Yu (2000) Reproductive isolation and genetic differentiation of a scleractinian coral *Mycedium elephantotus*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 201:179-187.
- [8] Yu, J. K., H.Y. Wang, S.C. Lee and C. F. Dai (1999) Genetic structure of a scleractinian coral *Mycedium elephantotus* (Pallas 1766) in Taiwan. Mar. Biol. 133:21-28.
- [9] Sheu, J.-H., S.-P. Chen, P.-J. Sung, M.Y. Chiang and C.F. Dai (2000) Hippuristerone A, a novel polyoxygenated steroid from the gorgonian *Isis hippuris*. Tetrahedron Letters 41: 7885-7888.
- [10] Duh, C.Y., S.K. Wang, S.G. Chung, G.C. Chou and C.F. Dai (2000) Cytotoxic cembrenolides and steroids from the Formosan soft coral *Sarcophytum crassocaule*. J. Nat. Prod. 63: 1634-1637.



工業工程的極致挑戰

一半導體代工生產系統

文／陳正剛（工業工程研究所副教授）

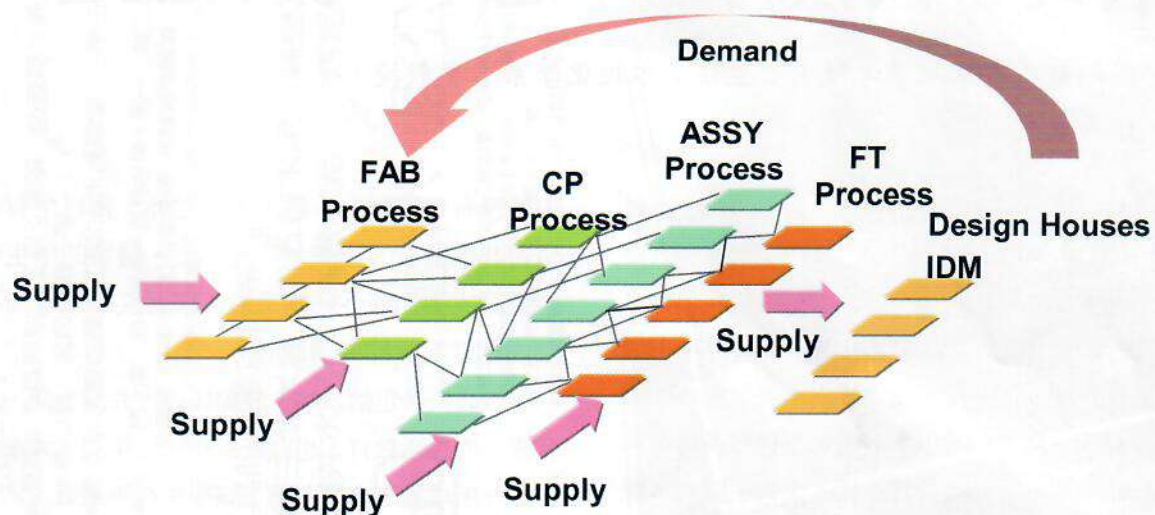
近年來台灣的半導體業蓬勃發展，其中晶圓代工工業在世界上更是首屈一指，不但創造了驚人的產值，更建立了世界首創的營運模式（Business model）。台灣其實早已是名符其實的全球製造中心，中小企業為主的產業結構憑藉著其極富彈性與應變力的營運模式，不但帶領台灣渡過許多次的全球性金融危機，更屢屢在不景氣中創造出傲人的成長。許多人認為：台灣其實只是在做低階的代工生產，是在做施振榮先生所稱微笑曲線中最不具附加價值的工作[1]

，大部分人卻忽略了其實代工才是台灣真正的競爭優勢所在，並不是毫無技術基礎可言，要做到低成本且快速反應的代工製造，除了需具備完整的產品製造技術，更需要有極富彈性的生產系統，以因應各種不同的訂單需求。在工業工程領域中我們稱此種生產系統為一「少量多樣」的生產模式，而半導體代工製造更是將此種生產模式的複雜度推展到了極致。

「少量多樣」的生產模式多適用於 engineer to order 的產品需求。一般而言產品需求可分為 make to stock、make to order 以及 engineer to order 三種類型，第一種類型適於大量生產，產品種類多屬於成本較低或產品生命週期較長的产品，如一般日常民生用品便屬於此類，半導體產品中的記憶體晶片亦屬於此類，其所生產的產品是以補充庫存（stock）為主要目的。第二類產品需求屬於較昂貴或生命週期較短的產品種類，此類產品大多有標準規格，電子產品多屬於此類，半導體產品中的 CPU 也屬此類，此類產品只在有訂單需求下才生產。最後一種產品需求種類不但具備第二種產品種類昂貴或生命週期短的特性，而且多沒有規格標準，產品生產需根據顧客需求量身定做（tailor-made or engineer-to-order），不但產品種類繁多，各類產品需求量亦多不大。一個好的代工業便是能夠做到少量多樣的 engineer to order

生產型態，而半導體代工更是此類型中最複雜的一種。典型的半導體晶圓生產（wafer fabrication）過程需要 200 至 300 的製程步驟（process steps）[2]，需時約 30 至 60 天才能完成，一般的 8 吋晶圓廠（wafer fab）約有 100 至 150 種不同的生產機台集群，機台總數約 300 至 400 部，每月約可生產 2 萬到 3 萬片晶圓，而代工廠每月則有約 300 或更多的不同產品訂單，亦即每種產品的每月平均需求量低於 100 片晶圓。半導體代工製造的複雜度並不止於晶圓廠的製造過程，晶圓製造只是生產最後 IC 成品的眾多步驟之一，晶圓產出後還需經過複雜的測試與封裝過程（wafer acceptance test, circuit probe, assembly, and final test），這便構成了一個如圖一所示的複雜製造網路。

一個有效率的生產計畫，便是要規劃出在高產能利用率下，以最短的時間生產出高良率且滿足顧客訂單需求的產品 [3, 4, 5]。生產規劃又可分為遠程、中程與近程規劃，大至各廠產能的佈屬與配置，小至每一機台製程步驟的生產排程，皆須做詳盡的考量以規劃出一面面俱到的生產計畫。替像半導體代工製造如此複雜的生產系統作生產規劃，簡直是工業工程師最可怕的夢魘。事實上，在生產管理學中，半導體代工製造系統類似於一 job shop 系統，job shop 系統的規劃與排程是一個非常難的數學問題。在許多的假設下，工業工程學家與數學家能夠較完整解決的，頂多是一擁有 2 至 3 種生產機台的 job shop 系統規劃問題。因此為了幫助工廠更精確地掌握其生產系統的動態特性，科學家多半利用系統模擬（Monte Carlo simulation）的方式來瞭解問題。對於像半導體製造網路如此複雜且多變的製造系統而言，利用模擬來尋求規劃問題的解決通常是一個非常無效率的嘗試錯誤（trial and error）過程，而所建構的模擬系統是否



圖一：半導體代工製造網路。

能真正反應出真實系統的問題，亦多受到質疑。由此可見，稱半導體代工製造網路的規劃為工業工程的極致挑戰絕不為過。

台灣大學半導體代工製造生產的研究團隊（包括工業工程研究、電機系、機械系和工商管理系的師生），於晶圓代工剛興起之初，便前瞻性地投入研究人力與資源，張時中教授（電機系與工業工程所合聘）首先率領一個研究團隊與台灣積體電路公司合作，顯著改善了該公司的生產績效，張教授並因此獲頒教育部與業界合作研發績效卓著獎勵。隨後，張教授與呂秀雄教授（機械系與工業工程所合聘）共同領導一個大型的國科會產學合作計畫案，充分結合本校的研究人力與台灣積體電路公司及世界先進半導體公司合作開發出許多先進的半導體製造生產規劃與監控技術，研究成果持續發表於半導體製造領域中最重要的國際研討會 *International Symposium on Semiconductor Manufacturing* 及 *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 學術期刊上。2000 年底，工業工程研究所研究團隊提出的研究計畫「半導體製造網路中的需求資料礦掘與規劃」，更獲得美國 SRC (Semiconductor Research Corporation) 的全額研究經費補助。該研究計畫由我本人任計畫總主持人，研究團隊主要成員包括：周雍強教授、張時中教授、及郭瑞祥副教授（與工商管理系合聘）。SRC 是美國最重要的大學研究計畫經費來源之一，SRC 自 1982 年成立以來已投入約五億二千萬美元的研究經費，估計約有 10% 的美國電機資訊博士畢業生皆參與

過 SRC 補助的相關研究計畫。台灣大學此次贏得美國 SRC 研究經費補助，成為該組織補助的第一所外國大學，不但充分說明了我國的半導體產業技術與學術研究成果，在國際上已取得先進地位，亦使本校的半導體製造系統研究得以與其他國家有更多的互動與交流。Ω

參考文獻

- [1] 施振榮, 發展電子業資訊工業之我見, 1988.
- [2] C.Y. Chang and S.M. SZE, *ULSI Technology*, McGraw-Hill, 1996.
- [3] T. E. Vollmann, W. L. Berry, and D. Clay, *Manufacturing planning and control systems*, Irwin/McGraw-Hill, 1997.
- [4] J. A. Rehg, *Computer-Integrated Manufacturing*, Prentice Hall, 1994.
- [5] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky and E. Simchi-Levi, *Designing and Managing the Supply Chain*, McGraw-Hill, 2000.

陳正剛副教授小檔案

學歷：美國羅格斯大學工業工程博士
 專長：品質工程、製程控制、統計推論、電腦整合製造、資料庫系統管理。
 主持「半導體製造網路中的需求資料礦掘與規劃」，甫獲美國 SRC 三年、合計約三十五萬美元的全額補助。