

悼念我們的老師刁錦寰先生（1933-2026）

蔡瑞胸¹ 陳江²

¹ 美國芝加哥大學布斯商學院
國立清華大學統計與數據科學研究所
E-mail: ruey.tsay@chicagobooth.edu

² 美國紐約雪城大學管理學院
E-mail: chungchen@foxmail.com

摘 要



驚聞我們的老師刁錦寰先生於當地時間 2026 年 4 月 25 日在美國芝加哥安詳辭世。頓然不知所措，好一陣回不過神。一位堅持理論應用並重的統計大師，循循善誘誨人不倦的良師，平易近人直爽樂觀的好友，還是離開了我們。

40 多年前在威斯康辛刁府感恩節年度餐會（1968-1981）與同學們把酒暢談；聆聽刁老師多變數時間數列講課深入淺出；昏天黑地的處理高空同溫層臭氧資料；亦步亦趨跟著刁老師做商業諮詢；多次和刁老師一起講授時間數列短期課程；合作寫研究論文，反覆斟酌逐字推敲；社交時間打撲克打麻將，刁老師總是贏的滿臉笑意。這些種種在我們的腦海不停快放，這是刁老師在威斯康辛大學和芝加哥大學（1962-2003）所有指導學生的共同感受。最後一次和刁老師朝夕相處是 2019 年暑期在臺北。

在回念“往日時光”的同時，也藉此與大家分享刁老師在學術界的主要貢獻（不足之處請學長學弟妹們賜予援手）。



1. 刁老師的學術背景

刁老師在威斯康辛大學麥迪森（Wisconsin-Madison）分校，師從 George E. P. Box 教授和 Arthur Goldberger 教授，他們兩位分別是該校統計系和經濟系的創始人。Box 教授是被稱為 20 世紀最偉大的統計思想者之一，他最強調的精神就是統計不能沒有應用，其名言“所有模型皆是錯的，但部分模型具備實用價值”（All models are wrong, some are useful）在科學界廣為流傳。Goldberger 教授是當時美國經濟學界的青年才俊（只比刁老師年長 3 歲），是 1980 年「諾貝爾經濟學獎」得主 Lawrence Klein 的學生。兩人於 1955 年共同創立「Klein-Goldberger 總體經濟計量模型」（Klein-Goldberger Macroeconomic Computer Models）。

刁老師進威斯康辛大學最初的單位是商學院，後來轉到了經濟系，因為研究興趣的關係，得到 Goldberger 教授同意，修完經濟系博士班所有課程並通過經濟系博士資格考試後跟從 Box 教授以「貝氏分析穩健性」（Bayesian Robustness）為論文方向，最終的論文題目是 Bayesian Analysis of Statistical Assumptions。取得經濟學博士學位後，被威斯康辛大學商學院和統計系合聘留校擔任助理教授。

1962-1982 年，任職威斯康辛大學麥迪森分校先後任助理教授、副教授、教授，並於 1973 至 1975 年期間擔任統計系的系主任。1981 年獲頒 Bascom Professor of Statistics 榮稱。1982-2003 年，被聘為芝加哥大學商學院 W. Allen Wallis 計量經濟學



與統計學講座教授、統計研究中心主任，直至榮休。

在眾多榮譽中，刁老師於 2001 年同時榮獲 Julius Shiskin 獎與 Wilks 紀念獎章，1993 年獲臺灣行政院主計總處頒發的傑出服務勳章，2005 年獲美國統計學會芝加哥分會年度統計學家獎。2003 年，他分別獲得西班牙馬德里卡洛斯三世大學與臺灣新竹國立清華大學授予的榮譽博士學位。他當選美國統計學會、數理統計學會及英國皇家統計學會會士，並為國際統計學會會員。1976 年他當選臺灣中央研究院院士。此外，他還擔任中國大陸及臺灣多所大學的榮譽教授，其中包括北京大學。

刁老師的學術專長，含括四個領域：貝氏理論、時間序列分析、環境統計和季節調整。在每一個領域中刁老師的工作成果對統計理論，觀念和應用都有深遠的影響。

2. 貝氏理論

刁老師在他的博士論文 *Bayesian Analysis of Statistical Assumptions* 上繼續深入探究，圍繞著當假設不對的時候，模型方法的表現如何？這個非常關鍵的統計問題。在完成多篇貝氏相關問題研究論文後，和 Box 教授在 1973 年共同完成《統計分析中的貝氏推斷，*Bayesian Inference in Statistical Analysis*》一書。

要理解 Box 教授和刁老師對貝氏理論在統計領域角色的影響力，就必須將其置於二十世紀中葉的時代背景之下。

二十世紀五、六十年代，統計學界由頻率學派（Frequentist）體系主導，Ronald A. Fisher、Jerzy Neyman、Egon Pearson（Box 教授的導師）等學者奠定了該學派的理論根基。

源自 Thomas Bayes 的貝氏思想，僅停留在哲學思辨與綱領性宣導層面。長期遭到輕視與否定，被貼上三大標籤：

1. 因引入先驗分佈而帶有主觀性；
2. 哲學基礎飽受質疑；
3. 難以落地解決現實問題。

彼時兩派之爭早已超越技術層面，近乎淪為意識形態層面的對立。然而 Box 教授與刁錦寰針對應用統計學家實際廣泛使用的各類模型，包括線性模型、方差分量模型、回歸模型等，以貝氏推斷方法展開了系統化梳理與推導。這為一線從業者提供了可落地的分析工具，而非僅停留在理論爭辯的空談。重新定義了“主觀性”：將其視作合理特性，而非固有缺陷。他們沒有回避先驗分佈，反而對其進行規範化構建：

- 先驗分佈可用於承載已有的先驗知識；
- 在先驗資訊匱乏時，可構建無資訊先驗。

這一做法有效化解了頻率學派對貝氏理論最核心的批判。選擇搭建溝通橋樑，而非築起對立壁壘，這也是該書精妙且關鍵的價值所在。他們將貝氏方法與頻率學派方法視作：

- 互為補充的分析工具；
- 而非互不相容的思想體系。

在大樣本條件下，或選用彌散先驗時，頻率學派與貝氏學派的分析結果往往趨於一致；多數情況下，兩派分歧更多集中在表述邏輯與解讀方式，而非實際分析結論；在闡釋推斷的本質內涵上，貝氏框架更具優勢：它針對參數給出概率化表述，而非依託假設性重複抽樣開展分析；先驗分佈的選取應當受到約束，通常需結合問題本身的結構特徵確定，而非依賴研究者的主觀信念。

相較於兩派陣營針鋒相對的哲學論戰，這種主動跳出爭議的研究思路，對整個統計學界的發展產生了更為深遠的實際影響。這完全反應了 Box 和刁錦寰兩人一向主張的務實作風。此前兩派學者爭論聚焦於概率本質與真理判定的哲學思辨，頻率學派牢牢佔據學界主流地位；Box 和刁錦寰則更關注方法效能、靈活性，穩定性與可解釋性。

總結：Box 和刁錦寰的作品《統計分析中的貝氏推斷；Bayesian Inference in Statistical Analysis》是貝氏理論復興的奠基著作。後續貝氏學派的快速發展，離不開諸多研究的加持：如 Dennis Lindley 的理論推動（theoretical advocacy）、Bradley Efron 的經驗貝氏思路（empirical Bayes ideas），以及二十世紀九十年代以 Markov Chain Monte Carlo (MCMC) 為核心的演算法革命。他們並沒有讓貝氏學派在兩派之爭中“完勝”，卻徹底改變了論戰的核心形式；逐步讓貝氏方法在應用領域獲得正統地位。

3. 時間數列、季節性調整、環境統計分析

在上個世紀六十年代，時間數列分析尚未成為主流統計關注的議題。即使 Box 和 Jenkins 在 1970 年出版了開創性的經典著作：“Time Series Analysis: Forecasting and Control 時間數列分析：預測與控制”。當時美國大學的統計專業很少有開時間數列分析的課程，即使有也是聚焦在頻譜分析方面（spectral analysis）。刁老師基於與商學院合聘的教學任務，在 60 年代末，就開始在商學院教授“單變數時間數列分析”的課程，也開始接觸到企業時間數列相關的專案，在美國大學教學和研究大都相輔相成的傳統，刁老師逐漸對時間數列的許多實際問題發生興趣。就在 60 年代末、70 年代初，刁老師把貝氏理論研究課題逐漸收官的同時，時間數列分析、季節性調整和環境統計分析的幼苗也在緩緩成長。

Box 和刁錦寰是能夠解決實際問題統計專家的名聲，通過口耳相傳，經常會有企業或政府帶著問題找上門。當時美國具有規模的企業也雇用許多科學家對他們的生產流程、產品品質和設計、銷售策略、庫存管理進行分析研究。當這些科學家碰到大量複雜的資料分析問題，就會尋找統計專家諮詢。而兩位教授並非是來者不拒，他們首先會和客戶討論問題的本質和企業的目標，當他們決定這是一個有研究特性的諮詢問題（也就是說不是套用已知方法就能解決），才會願意接受這個諮詢項目。刁老師在季節性調整和環境統計分析這兩個領域的研究就是從諮詢項目開始的。前者是某企業希望知道聯邦普查局的季節性調整過濾法到底是怎麼回事，後者是洛杉磯市政府和化工企業需要估測某些政策對降低環境污染的效果。以下我先介紹刁老師在這兩個領域的

貢獻，再回到時間數列分析。

3.1 刁老師在季節性調整方法的影響

許多自然科學、天文學、政府經濟和企業管理資料具有明顯的季節性是一個眾所周知的現象。每個領域按照自己的問題和資料特徵，各自都有自行發展的方法來分析解釋領域內資料季節性現象。刁老師因為諮詢專案開始對美國聯邦普查局季節性過濾法產生興趣。美國聯邦普查局 X-11 季節調整過濾法主要是利用多年歷史經驗開發的許多平滑調整的組合，經過幾次試誤修正得到的實證季節性調整資料。如此政府每月都會公佈宏觀經濟資料兩個版本：非季節性調整資料和季節性調整資料。當企業要使用政府資料聯合自身資料進行市場分析時，就需要考慮使用哪個形態的資料。特別是大部分企業的生產、銷售、庫存月度資料經常呈現不同程度的季節性。如果為了估計企業資料的真正趨勢，分析者一般都認為季節性的浮動是一種噪音，應該從觀測資料中移除，這樣企業自己也要對自身資料進行“季節性調整”。然而許多企業對這樣的“黑箱過濾”不理解也不知道如何解釋，才產生了求助刁老師的諮詢專案。

刁老師帶著他的博士研究生（Bill Cleveland）經過幾年的嘗試，首先他們找到了一個季節性 ARIMA 模型（用符號模型 S11 代表），並且證明如果當一組時間數列資料具有模型 S11 的結構，那麼 X-11 過濾法使用到這組資料上，就可以得到最優化的季節性調整結果（也就是說調整後資料，完全不再具有季節性特徵）。之後美國聯邦普查局邀請刁老師加入普查局支持的研究課題，開始發展以模型為基礎的季節性調整程式



1974 擔任統計系系主任

(Model-based seasonal adjustment procedure)，最終這個方法融入了新版的 X12-季節性調整法。這個方法後來被加拿大、歐盟和聯合國許多國家採納。有了模型為基礎的調整法，這個過程不再被視為黑盒子。當然季節性調整只是一個通用名稱，實際上經濟社會資料受到許多已知（假節日、週末、特殊事件），或未知非經濟因素（自然災害）這些事件對資料的影響都是被調整的一部分。刁老師發展的以模型為基礎的季節性調整方法移除了這個領域最大的黑盒子。之後刁老師團隊發展的介入分析模型、特異質偵測和調整，也成為當今世界通用美國聯邦普查局 X-13ARIMA-SEATS 軟體的一部分。

刁老師的研究把季節性調整方法往“模型化”推進了一大步。

3.2 刁老師在環境統計分析的影響

前面提過在 70 年代初到 1975-77 年期間，刁老師帶領著威斯康辛團隊為洛杉磯市政府和降低空氣污染相關企業作的諮詢項目，最初的問題是評估：1. 要求所有汽車安裝（加州規空氣濾清器）；2. 降低高速公路車速；3. 增加一條市內高架路；三個政策分別對空氣污染的影響。在這個項目進行的過程中，他們發現有許多其他的政府和企業都有類似的問題。這個項目快結束時，他們發表了一篇，在統計應用方面以介入分析為名的論文。這篇文章的影響力超過 Box 和刁錦寰兩人研究著作的總和。刁老師常常開玩笑說有幾篇文章花了快 10 年才完成，最後看得懂的人寥寥無幾，這篇花了不到兩個月完成的文章，影響到幾乎所有科學領域：Box, G. E. P., and Tiao, G. C. (1975). Intervention Analysis with Applications to Economic and Environmental Problems. *Journal of the American Statistical Association*, 70(349), pages 70–79。50 年前發表的結果，到現在仍然持續被引用。

結束洛杉磯地面臭氧分析項目沒有多久，刁老師接到美國化學製造協會（Chemical Manufacturing Association）邀約，1979 年開始進行高空同溫層（Stratosphere）的臭氧研究。高空同溫層含有大量的臭氧，臭氧此種物質非常關鍵，因為它可以隔絕紫外線的威脅，使其無法直接照射地表。此專案的主要目標探討高空同溫層的臭氧量是否下降，此種臭氧的穩定是地球世界生存的核心。這個專案刁老師統計領域的合作夥伴是威斯康辛大學的 Gregory C. Reinsel 教授，這個項目和洛杉磯項目最大的差別就是科學理論和資料的雙重複雜性。在地面，臭氧資料取自固定地點，每日固定時間截取空氣樣本。在高空只能依靠移動覆蓋地表人造衛星收取樣本，而且影響大氣成分的因素多而複雜。刁老師的團隊每三到四個月，就會定期與業界人士、美國國家航空



1975-76 統計系辦公室，牆上是地面臭氧數據圖

航天局 (NASA)、美國環境保護署 (EPA)、美國國家海洋和大氣管理局 (NOAA) 以及加拿大環境部門的工作人員開展座談交流。藉此逐步組建起一支由大氣科學家、建模研究員與統計學家構成的專業團隊，聚焦大氣臭氧問題研究，後續又拓展至氣溫相關課題。該團隊被命名為猛虎專項小組 (Tiger Team)。在二十四年間 (1979-2013)，這支團隊累計發表論文 30 餘篇，大多刊載於地球物理學領域頂級期刊，在全球科研界形成了廣泛且深遠的學術影響力。

刁老師談到這個項目，深深體會到若想真正透徹解析各類環境科學難題，甚至其他領域科學難題，科研人員絕對離不開統計學者的協作，而統計研究也需要與前沿科學領域相互支撐。

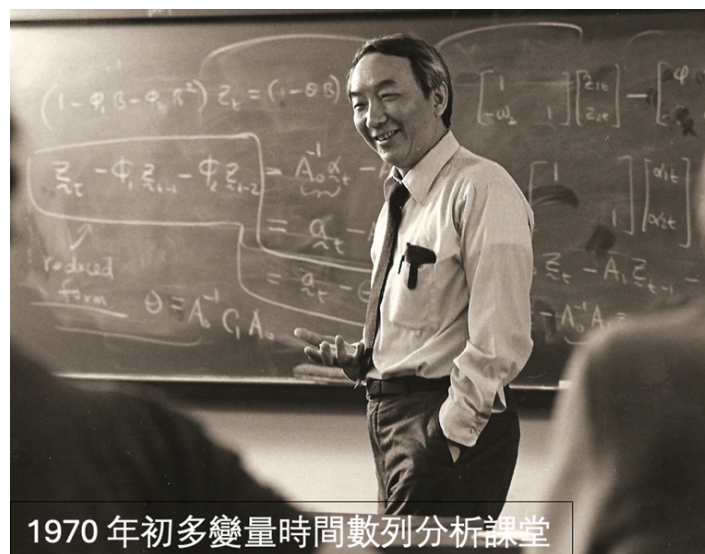
4. 時間數列分析

當前大資料環境下，系統性收集記錄的資料都是以時間數列的形式儲存。50 多年前，Box 和 Jenkins “Time Series Analysis: Forecasting and Control 時間數列分析：預測與控制” 的開創性經典著作，為政府、企業預測需求和化工、水泥、鋼鐵等製造業生產流程控制提供了有效的科學方法。事實上，在當時大部分的應用是在生產

流程的控制方面。主要原因在於當時的資料和計算器軟、硬體的配套都不完善。但是該書最重要的貢獻在於提出了一套針對單變數時間數列、季節性模型、轉換函數模型的反覆運算式持續建模修正流程 (Iterative Model Building Procedure)：1. 建模 (model specification) / 1.a 模型修正 (model revision)；2. 模型估計 (parameter estimation)；3. 模型檢驗 (model diagnostics)；4. 預測 (forecast) / 控制 (control)。步驟 1-3 迴圈進行直到模型檢驗沒有發現顯著誤差，就進行步驟 4。

在這個基礎上，刁老師對時間數列研究工作大致聚焦在五個方向：1. 季節性調整方法；2. 向量自回歸移動平均模型 (Vector ARMA model) 和轉換函數模型 (Transfer function model) 參數估計的演算法優化；3. 介入函數模型分析和特異質檢測；4. 混合型模型的科學建模方法；5. 多變數時間數列建模流程和結構分析。其中 4. 和 5. 部分有交集，但是應用方向不同。

時間數列課程在威斯康辛是一學年，六個學分的課，上學期由 Box 教授講單變數時間數列模型和轉換函數模型 (STAT701)，下學期由刁老師教多變數時間數列模型 (STAT702)。這裡我要特別介紹威斯康辛時間數列學派的特色：在威斯康辛時間數列團隊發展的理論和方法必須有伴隨的通用型應用軟體來執行新模型 / 方法的應用。這就是 WMTS (Wisconsin Multiple Time Series package；威斯康辛多變數時間數列套裝軟體) 和 SCA (Scientific Computing Associates) 的起源。課程中除了推導所有模型的理論特徵和建模方法，特別重視的是應用資料分析。每位同學都需要自己尋找收集實際資料，以案例報告的形式為課業成績的一部分。



1970 年初多變量時間數列分析課堂

4.1 時間數列和轉換函數模型參數估計

季節性調整方法的發展，前面已經討論過，就不再重複。時間數列模型和轉換函數模型在形式上都是線性模型的組合。模型參數的估計，也是遵循一般“最大似然估計”法。大樣本的理論收斂性質都是大家耳熟能詳的結果。在過去看到不穩定的資料 (nonstationary process)，大多會使用差分法轉換成穩定數列 (stationary process) 再繼續分析建模。近年越來越多學者建議直接對原始資料進行分析，許多理論研究也發現即使是不穩定數列，“最大似然估計”的收斂性仍然存在。但是收斂的分佈會有不同。時間數列模型結構 (特別是混合型) 的複雜性，在尋求“最大似然估計”數值解的過程，等同針對一個極端複雜的非線性函數求解。在 70 年代，進行時間數列分析時，如果初始模型和實際資料結構完全不匹配，參數估計常常會不收斂而得不到任何結果，然後程式會跳出：“請更改模型”的建議。刁老師和他的團隊在這方面做了理論和演算法限制的深究，他自己也常常說如果不是學生中有一位計算器程式設計高手 (學長 Mike Grupe)，時間數列模型參數估計不會如此準確和穩定。從理論統計而言這或許是一個小插曲，對實務應用這是一個重要突破。

4.2 介入分析和特異質偵測調整

在環境統計分析部分，我們已經談過針對已知事件和政策影響，刁老師和 Box 教授提出了介入分析方法 (Intervention Analysis)。然而大部分的時間數列資料都是觀測資料經常會受到環境或許多不可預期因素的干擾。大概率情況下，各類模型假設都不能解釋這些現象。特異質偵測和調整就是對此類問題的回復。對不同形態的特異質 (outliers) 如加成型特異質 (AO; additive outlier)、生成型特異質 (IO; innovative outlier)、短期效果特異 (TC; temporary change)、長期效果特異 (LS; level shift)，或者分析者自定的任何特異效果的偵測和調整，再配合單變數模型、轉換函數模型和向量 ARMA 模型，分析者對資料有更全面的瞭解。刁老師帶領他的團隊在這方面做了許多工作，整個演算法也包含在 SCA 統計套裝系統。

4.3 多變數時間數列分析和混合型模型建模

60-70 年代開始時間數列分析逐漸受到企業界和學術界的關注，數列之間的關聯性成為不可避免的焦點。刁老師對當時流行的“白化法 (pre-whitening)”並不滿意，堅持直接一起分析多個時間數列，也就是向量 ARMA 模型。在 1977 年刁老師

和 Box 教授在 *Biometrika* 的文章 “A canonical analysis of multiple time series”，就指出利用他們提出的方法直接對五組非穩定 (nonstationary) 時間數列進行向量建模，再進入正則分析 (canonical analysis)，就會發現透過線性轉換，在這個 5-維度向量系統內，只有 3-維度的震盪是不穩定 (nonstationary)，另外兩維度則是穩定數列 (stationary)。當時他們並沒有提出協整 (co-integration) 這個名稱。10 年後 Engle and Granger (1987) 在經濟領域針對這樣的現象提出了模型和檢測方法。日後其他學者也指出了這個事實。

大家都知道時間數列 ARIMA 模型，有三種形態表達：AR、MA 和 ARMA。在建模的過程中，Box 教授也主張簡約的原則 (principle of parsimony)。但是在 Box 和 Jenkins 的經典著作中，對混合型模型的建模方法並不明確。刁老師和蔡瑞胸 (Ruey S. Tsay) 在這方面發表了系列的文章，特別是發展了 EACF 方法 (Extended Autocorrelation Function; 1983)、正則檢定法 (Canonical model identification; 1985)，補充了混合型科學建模的空白。

多變數時間數列分析是對複雜現象剝絲抽繭的有力工具，但是如何在混亂中發現有用的規律性仍然是一個高難度的挑戰。刁老師和蔡瑞胸的標量分量模型 (Scalar component model; 1989) 在這個方向的嘗試，也代表了對無盡未知前沿探索的努力。

回顧了刁老師的研究，希望年輕學者們能夠踏著前輩的步伐，努力不懈，奮力邁進。

附註：貝氏統計當下應用現狀

如今各大企業選擇統計方法，並非出於意識形態立場，而是基於實際需求採用貝氏方法，是因為它能更好解決具體業務問題。

放眼各行各業，貝氏方法的優勢十分突出：

- 可隨新增資料持續反覆運算更新分析結論，無需重複開展完整研究；
- 更適配小樣本、資料雜亂的分析場景；
- 支持概率化決策（例如：該方案優化效果達目標概率為 92%）；
- 能夠自然整合歷史資料、專家經驗等先驗資訊。

這一特性高度契合企業的運營模式：在充滿不確定性的環境中，開展反覆運算式決策。

A/B 測試與線上實驗

谷歌（Google）、網飛（Netflix）、亞馬遜（Amazon）等企業常年開展海量對照實驗。

1. 經典頻率學派方案—設定固定樣本量，必須等待實驗完全結束，最終僅能得出二元結論：拒絕原假設或無法拒絕原假設。
2. 日益普及的貝氏方案—持續更新新版本方案更優的概率；在置信度充足時提前終止實驗；輸出精細化概率決策，例如：「本次優化使轉化率提升至少 1% 的概率為 95%」。

貝氏分析效率更高、成本更低，也更貼合產品團隊的決策思維。

個性化推送引擎

以網飛或聲破天（Spotify）為例：平臺往往缺少新使用者的足量資料，使用者偏好會隨時間不斷變化，用戶回饋還存在大量雜訊（點擊行為並不同於喜愛偏好）。貝氏方法的解決思路為：

- 先基於先驗認知建立對用戶偏好的初始判斷；
- 根據每一次使用者互動行為，持續修正原有判斷；
- 對不確定性進行顯性量化與處理。

這類場景通常依託兩類模型實現：貝氏老虎機演算法（Bayesian bandits；平衡探索新內容與利用已知偏好）、分層模型（Hierarchical models；在不同使用者之間共用資訊、提升建模效率）。

廣告技術與即時競價領域

元宇宙平臺（Meta Platforms）、谷歌等企業高度依賴概率統計模型：即時預測用戶點擊概率與轉化概率、隨流式資料不間斷更新預估結果、動態調配投放預算。貝氏方法在此場景下堪稱最優選擇，原因在於：回應調整即時迅速，且能量化不確定性（這對競價決策至關重要）。

金融領域

在金融行業中，不確定性並非次要干擾，而是核心研究物件。金融機構借助貝氏模型：跟隨市場波動即時更新風險估值、融合歷史資料與即時市場信號、對資料稀缺的極端稀有事件開展建模分析。典型應用包括：投資組合風險動態修正、信用違約概率測算、金融風控與欺詐識別系統。

醫藥研發領域

製藥企業與科研機構廣泛將貝氏方法用於臨床試驗：隨著試驗資料持續錄入，動態修正對藥物療效的判斷；若試驗結論已足夠明確，可提前終止試驗；將更多受試患者分配至療效更具潛力的試驗療法。該模式兼具雙重優勢：分析效率更高，同時更符合倫理準則（減少受試者接觸無效或劣效療法的風險）。

機器學習：潛藏的貝氏底層邏輯

即便未被明確標註，貝氏思想早已深度融入現代機器學習體系：正則化機制本質等價於先驗假設約束、神經網路不確定性評估、用於模型超參調優的貝氏優化。開放人工智慧（OpenAI）、谷歌深度思維（Google DeepMind）等頂尖科技企業，均在大規模落地應用這類貝氏核心思想。

現實格局：混合並用，而非學派勝負之爭

核心事實在於：現代企業並不會徹底棄用頻率學派方法，而是採取混合搭配的實用策略：

- 追求簡潔性、或需遵循行業監管規範時，選用頻率學派工具；
- 面對序貫決策、資料稀疏且動態變化、需要直接量化不確定性的場景，則採用貝氏方法。

深層變革—Box 與刁錦寰早已預見

當下產業界的整體轉向，正是《統計分析中的貝氏推斷》一書推動實現的核心變革：從一次性、固定式的靜態推斷，全面轉向持續反覆運算的動態學習體系。換言之，企業的運營邏輯正在轉變：不再局限於「完成單次實驗 → 輸出固定結論」，而是轉變為「持續更新認知 → 落地決策 → 迴圈反覆運算修正」。這正是貝氏思想的核心內核—即便很多場景並未貼上貝氏標籤。

歸根結底，現代企業選用貝氏方法，並非因為其在學派論戰中取得勝利，而是源於商業現實的客觀需求：商業決策具備連續序貫特徵、資料永遠殘缺且不斷動態更新、不確定性必須主動管控而非刻意忽略。而貝氏推斷，恰好完美適配這一現實場景。

蔡瑞胸和陳江，2026年5月1日