

書評 Book Review

Dynamic Data Assimilation: A Least Square Approach

J. M. Lewis, S. Lakshmivarahan and S. Dahll

Cambridge University Press, August 2006, 654 pp.

曾忠一 2007 年 3 月 9 日

資料同化定義為充分利用不同來源的資料以決定地球物理狀態的方法，這些資料來源包括觀測、動力方程以及統計資料等等。說得更清楚一點，資料同化就是最佳的結合觀測值和數值預報模式輸出，以便決定系統狀態最佳估計值的方法。因此，只要有預報模式和觀測值，就可以這方法決定最佳的狀態變數值，從而它的應用範圍很廣，包括氣象學、海洋學、大氣化學、軌道力學以及信號處理都可適用。甚至對計量經濟學也有用，因為它有經驗或統計的預報模式。在進行資料同化時需先建立兩個模式，一為數值預報模式，這是將狀態變數往前預報的模式；二為觀測模式，這是聯繫狀態變數和可觀測量的模式，舉例說對氣溫的紅外遙測來說，可觀測量是二氧化碳頻道處觀測到的亮度溫度，狀態變數則是氣溫垂直分布，而觀測模式就是由氣溫垂直分布計算亮度溫度的輻射傳遞模式了。資料同化表面上看來是數值天氣預報的一環，但事實上令人感到意外，它也是天氣學研究的新方法之一，舉例說利用系集卡爾曼濾波器由雷達資料重建中尺度劇烈風暴的氣象場，探討天氣學中的因果關係（稱為敏感性分析）等等，都屬於資料同化的主要內容之一。

第一作者 Lewis 是我的同門師兄，指導教授是美國奧克拉荷馬大學氣象系的 Y. K. Sasaki 教授，但我沒見過他本人，也不認識，但曾聽說過。1972 年春天我到那所大學求學時，他已畢業離

開了。他一直在美國氣象界工作，現在任職於 NSSL（國家劇烈風暴實驗室），有豐富的教學、研究和實際工作經驗。

這本書我在過年前才從圖書館取得，在年假中和以後的一個多星期時間內，我總共花了三個星期的時間仔細看這本書。本書講述當前資料同化的兩個主要方法，一為離線處理的四維變分同化，另一為線上處理的卡爾曼濾波器。這本書的確有特色，舉例說對所需的數學工具解釋得相當清楚，完整而詳盡的介紹了統計估計理論，對四維變分同化和敏感性分析的非線性問題同時介紹了一階和二階伴隨方法，還有對動力模式的可預測性問題有深入的評介。此外，由於作者對氣象學近代史甚感興趣，因此本書對資料同化的歷史也有詳細的說明。

這本書分為八大部分 32 章，每章大概有二三十頁。第一部分說明資料同化的起源，包括例子、應用和歷史。第二部分介紹確定性模式，主要是最小二乘法；第三部分詳細說明求解資料同化問題的計算方法，也就是矩陣計算法和下降算法。第四部分講述統計估計方法，包括極小方差解、極大似然解以及貝葉斯估計法。第五部分討論三維變分同化問題、早期的客觀分析法以及數位濾波器。這種濾波器主要模擬背景誤差協方差矩陣和一個向量的乘積，以便減少數值計算時所需的空間和時間。第六部分是四維變分同化和伴隨模式，但沒考慮模式誤差。第七部分說明隨機動力模式，也就是卡爾曼濾波器，包括系集卡爾曼濾波器和低秩濾波器，第八部分側重於可預測性問題，包括確定性和隨機性觀點。書中每一章後面都附有習題和文獻的探討，可做為讀者複習和更進一步學習之用。

本書寫得非常清晰易讀，條理分明，我才有辦法在短短三個星期內讀完此書。但本書也有若干微小缺點：

- (a) 有些公式的導出過於繁複，舉例說在導出最佳增益矩陣時使用了動力模式（第 469 頁），這完全不必要。還有，最

佳增益矩陣兩個形式之間的變換可使用更簡單的矩陣恆等式，不需使用矩陣求逆引理（第 327 頁）。

(b)有些公式重複。舉例說，第 384 頁到 386 頁中公式有重複之處。

(c)了解內文所需的附圖不夠多。

(d)不同的符號表達同一意義。舉例說代表觀測的下標，可能作者本來要用英文小寫斜體 o ，但經常排成正體 o ，圈圈。或者數字 0。

(e)代表向量或矩陣的希臘字母，有時用粗體字，有時不用，造成少許的閱讀困難。

本書的排版、校對仍有非常大的改善空間，我已找到 1000 個錯，我想最後的錯誤可能超過 1200 個錯，最主要的錯誤是使用錯誤的字體，或者使用不同的符號表示同一物理量。這是我看過的印刷錯誤最多的西方書籍。做為比較的標準，Holton 的動力氣象學第三版（1992 年）只有 160 左右的錯，平均每頁 0.32 個。至於國內出版的錯誤最多的中文書籍，則是一家大出版社刊印的書名 6 個字的書了，總共有 5000 個錯，初學者讀起來一定非常頭大，完全無法吸收。本書印刷錯誤的數量這樣龐大，雖然大部分是小錯誤，但已經有點影響到可讀性了。不過英文書可供全世界使用，故幾年後本書再版的可能性很高，假如能把已發現的錯誤全部改正，就更加完美了。因此，我將在三月底前製作出一份勘誤表給本書作者，以做為再版時改進的參考。

國內在 2006 年 4 月也出版了一本與這本書性質完全相同的書，書名為「大氣科學中的反問題」（國立編譯館主編、出版、鼎文書局總經銷）（以下稱為反問題），總共 1288 頁，15 章 10 附錄，分為上下兩冊刊印。「反問題」和這本書雖然性質一樣，但內容並不重疊，而是互補。舉例說，這本書討論了資料同化史、二階伴隨模式、可預測性，但「反問題」根本未提到或是只略為提及。相反的，「反問題」說明了卡爾曼平滑器、四維變分同化

和卡爾曼濾波平滑器之間的關係以及 GPS、雷達和衛星資料的同化，但這本書未曾觸及。還有，這本書詳細說明最小二乘法、下降算法、數位濾波器，但「反問題」對這些方面著墨較少。這本書的參考文獻橫跨半世紀以上，但「反問題」蓄意的大都列出 1990 年後的文獻，兩本書中列出的參考文獻相同的不到五分之一。最後，這本書取的名字比較好，比較中性，可以吸引海洋學、環境科學，水文學以及其他學科讀者的注意和興趣，相反的「大氣科學中的反問題」取名範圍較狹窄，雖然附上副標題「反演、分析與同化」，但別一行的讀者可能會忽略它的存在，甚至氣象界的讀者也可能不知道這本書究竟在說些什麼。

在日常生活中有很多事，只要做好百分之八九十就令人滿意了。舉例說升學考或就業考，拿到 80 分就一定能考上了。但有些事則需做到百分之百正確才行，舉例說（除了人身安全外）計算機程式和校對。程式只要一點錯誤，計算機就不處理，給出 **fatal error**（你完蛋了）的訊息，讓你焦急不堪。校對工作理論上也需要做到百分之百正確，但永遠沒辦法達到，只要一不小心，一本書印出來就錯誤連篇，甚至到達不可收拾的地步。國內的出版物大都不注意排版校對工作，舉例說我發現一篇博士論文缺了 80 個參考文獻，一篇碩士論文缺了 40 個參考文獻，另有一本書錯誤高達 800 個。在國內若是一本書錯誤太多，雖然出版社已得知訊息，但他們大都置之不理，深恐賠本，承辦人則唯恐受到處罰，因而低調處理，悶不吭聲。剛才提到的錯誤高達 5000 個，未曾做校對工作的那本書，根本無法製作勘誤表，因為篇幅將會高達一百多頁，可是那本書到現在為止仍然照賣不誤，完全無視廣大氣象界讀者的權益。

這本書比較可能出現在數學系的圖書館內，因為本書列入 *Encyclopedia of Mathematics and its Applications* 叢書內，因而數學系圖書館最先得知本書的出版訊息。但是不必懷疑，這本書是氣象學家為氣象學界人士而寫的，所需用到的數學方法不會過度

深奧。必須記得資料同化這種課絕大部分在大氣系內開設，而且這個學科現在對氣象學用途最多，氣象學家的貢獻也最大。當然最近十多年來海洋學家對資料同化的貢獻不亞於氣象學家，舉例說系集卡爾曼濾波器、減秩平方根濾波器以及代表函數法等等都是由海洋學家所發展出來的。

這本書的目次、7 個附錄以及其他資料放在網頁中，網址為 <http://www.cambridge.org/catalogue/catalogue.asp?isbn=9780521851558>。