



潛在成長曲線模式

余民寧*

壹、縱貫性研究為什麼重要？

在人類有文字記載的歷史裡，地球各地存在著各種自然的或人為的「現象」(phenomena)或「變項」(variables)(包括：人、事、物、組織、或國家不等)，天天都在上演「成長(growth)與改變(change)」的戲碼，早已成爲人類所關心的生活問題所在。由於時間(time)的遞移，造成萬事萬物的變動不拘、成長與改變不斷。地球上唯一不變的現象，就是「變」。

例如，天文學家關心一個地區的天文氣象變化情形，地質學家關心一個地區的晴雨、溫濕度、與河川變化情形，心理學家關心學童智力與認知能力的發展情形，經濟學家關心一個國家的經濟成長或一個公司的銷售業績情形，社會學家關心某些社區的犯罪率消長變化情形等等，都是最佳的說明例子。而如何測量與觀察這些「現象」或「變項」的穩定和改變情況(不論是連續性的或橫斷性的、長期性的或短期性的、急遽性的或緩慢性的)，進而加以分析、掌握、與運用其長期的變化趨勢，都已成爲各領域學者專家們所研究分析的焦點問題所在。在人類所探討的各種「改變」問題之測量時間間隔單位，可能是以時、以日、以週、以月、以季、以年、或以世紀來計算，不一而足；且所擬收集分析的資

* 余民寧 Min-Ning Yu

國立政治大學教育學系特聘教授

電子郵件：mnyu@nccu.edu.tw

本文評介：Preacher, K. J., Wichman, A. L., MacCallum, R. C., & Briggs, N. E. (2008). *Latent growth curve modeling*. Thousand Oaks, CA: Sage.

料對象，可能是人、事、物、組織、或國家不等；這些都是學者專家們所感興趣，並且企圖加以詮釋的時間變動軌跡（trajectories）資料，也就是「縱貫性資料分析」（longitudinal data analysis）的來源。

人類探究時間變動軌跡的相關問題，已歷時數千年之久了。但近數十年來，各學術領域的學者專家們都不約而同地對「縱貫性資料分析」（尤其是社會科學領域）進行密切關注，並且急遽增加對此領域的研究議題數量與人才培育，筆者認為其背後有以下幾個原因（余民寧，2006，未出版；Bollen & Curran, 2006; Duncan, Duncan, & Strycker, 2006）：

- （1）想掌控未來的慾望和動機。在農業耕作的時代，人類的祖先長期觀察天文氣象，記錄天象的各種變化趨勢，進而決定何時播種與何時收割；但到了近代社會，各學術領域的學者漠不關心自己研究領域內會產生長期變化趨勢的課題，例如：教育人員關心影響學童學習成長變化的因為為何，進而希望能夠透過變革課程、教材教法、學制、考試與評量方式等、經濟學家或政府財經官員會不斷關注國內的進出口貿易、就業與失業、物價上漲的短、中、長期的變化趨勢，以便提出能促進國家競爭力的方案等；換句話說，人類想要瞭解未來，進而掌控未來的慾望，是千古不變的動機所在。孰能優先瞭解與掌握未來，便能掌握制敵機先、運籌帷幄於千里之外、進而統治未來的世界。因此，凡足以促進瞭解與研究長期趨勢的方法學，便逐漸成為世人矚目的顯學。
- （2）橫斷面研究已無法滿足所需。從過去「橫斷面資料」（cross-sectional data）的研究中，研究者發現無法滿足某些研究的待答問題，如：因果關係、長期發展趨勢、或預測結果等。因為這些研究問題或理論假設，多半都隱含有導致「改變」的前

因後果等影響因素，而欲獲得此類問題的最佳解答方式，唯有透過縱貫性資料的收集與分析，才能給予真正的、穩定的、與最終的回答和評價。

- (3) 傳統資料分析方法已不符所需。傳統上，針對縱貫性資料分析的統計分析技術，如：前後測組別平均數的 t 檢定 (t -test)、自我迴歸模式 (autoregressive models)、重複測量的多變量變異數分析 (repeated measures multivariate analysis of variance, MANOVA)、原始差異分數 (raw difference scores)、殘差改變分數 (residualized change scores)、與隨機與固定效果慣時性資料模式 (random and fixed effects panel data models) 等，都有其理論模型與資料適用性的假設與限制，無法放之四海而皆準。針對縱貫性資料分析而言，沒有單一的統計方法可以一體適用全部的資料類型，我們勢必要針對不同的資料結構，尋找不同的統計模式與資料分析方法才行。
- (4) 統計軟體程式的盛行與成長茁壯。拜電腦軟硬體科技的進步之賜，各式的統計套裝電腦程式盛行，不僅具有使用的親和性，更方便讓非主修數理領域的學者，得以輕易理解原本需要複雜運算的數學模型，縮短理論與實徵應用之間的落差，促使統計分析方法的快速演進，得以由單變量統計學 (univariate statistics) 發長成爲多變量統計學 (multivariate statistics)、由相關模式 (correlation models) 的分析演進到因果模式 (causal modeling) 的探究、由明顯變項 (manifest variables) 的探究深入到潛在變項 (latent variables) 的探索、由單層次資料結構 (unilevel data structure) 的設計進步到多層次資料結構 (multilevel data structure) 的設計。這樣的進化歷程，若沒有電腦程式的誕生及普及應用的話，統計方法學論的發展是

不會那麼迅速的。當今，結構方程式模型（structural equation modeling, SEM）方法論的興起與茁壯，以及統計套裝軟體程式（如：LISREL、EQS、AMOS、MPLUS等）的盛行，正是數學理論模型與電腦科技結合的最佳寫照。

- (5) 介入時間因素讓因果關係的探索研究變成可能。探索變項之間的因果關係（cause-effect relationship 或 causal relationship），一直是各領域學術研究的重點。過去，唯有使用「真實實驗設計」（true experimental design）方法，在嚴謹的控制各種干擾變項之下，研究者操弄自變項，再去觀察依變項的變化，因此所得到的結論，才能據以推論自變項與依變項之間是否具有因果關係的存在。然而，對社會科學而言，多數的研究都是運用抽樣調查法（survey methods）所收集到的靜態觀察性資料（observational data），資料本身是沒有介入人為操弄的程序，因此無法進行因果關係的探索；即使，勉強使用「路徑分析」（path analysis）或結構方程式模型（SEM）等統計方法來進行資料分析，充其量也只能支持理論假設的「路徑關係」（path relationship）或「結構關係」（structural relationship）而已，它並非是真正的因果關係。若欲探索因果關係，最好的方法即是介入「時間」因素在資料收集過程中，也就是說「貫時性資料」裡的時間因素，可以更加明確支持「路徑關係」的因果假設——亦即，因為時間是一種線性的、不可逆的因素，因此，只有時間發生在「前」（before）的變項（preceding variables）一定（或可能）是時間發生在「後」（after）的變項（posterior variables）的「因」（causes）；反之，則否。所以，介入時間因素讓因果關係的探索變成可能，它對社會科學而言，其重要性自是不言可喻。

(6) 已有現成的貫時性資料釋出，長期趨勢的研究勢必成爲未來的顯學。不論國內外，有嚴謹設計的「貫時性資料」(panel data)已經釋出(如：美國的「國家教育縱貫研究」〔National Education Longitudinal Study, NELS〕，臺灣的「臺灣教育長期追蹤資料庫」〔Taiwan Education Panel Survey, TEPS〕等)，提供探究「成長與改變」問題的研究者許多方便性與可能性。這些大型且調查架構複雜的貫時性資料，都是在嚴謹、複雜、與深澳的進階方法學作爲後盾，大批經費與人力的支援下，才能如願地建構起來。故，探究長期趨勢變化的方法學，勢必成爲未來研究方法的顯學。

綜合上述，欲瞭解「成長與改變」的問題，甚至是探索「長期改變趨勢」的問題，在社會科學領域裡，我們勢必需要導入「縱貫性資料分析」的研究設計、資料收集的方法、與適當的統計分析技術，才能幫助我們順利解開所擬探究問題之間的因果關係，進而協助我們得以掌握長期趨勢的變化情形，以爲不確定的未來，及早做好未雨綢繆的準備。

貳、術德兼備的 LGM 模型

基本上，社會科學的研究性質不像自然科學的研究一樣，研究變項可以那麼輕易的被研究者進行實驗操弄或控制。因此，許多社會科學家都不得不承認，社會科學或行爲科學若欲探索「成長與改變」的問題，最佳的策略，即是在研究設計中介入「時間」因素；所以，「貫時性資料」(至少橫跨前測與後測兩個時間點的資料收集，絕對會比橫斷面的資料，更能用來推測兩個變項之間是否真的具有因果關係)的建立和收集，對傳統的縱貫性資料分析而言，便成爲一個十分重要的研究設計方式。

傳統上，學者們也都同意，研究若要進行因果推論的話，勢必要先滿足三個條件：（1）共變關係（covariation）：必須假設兩個變項之間具有顯著的相關（correlation）存在，若沒有相關存在，是不可能具有因果關係的推論的；（2）事件發生的時間順序（temporal order of events）：亦即，擬扮演假設的因變項（causal variables）事件，必須發生在擬扮演假設的果變項（effect variables）事件之前；（3）沒有虛假效果干擾（non-spuriousness）：也就是說，其他會影響果變項解釋的外在因素，都可以被排除掉或被控制住（Blalock, 1964; Gollob & Reichardt, 1987; Kessler & Greenberg, 1981）。但是，傳統上慣用的統計分析方法（如：自我迴歸模式〔autoregressive models〕），都有其缺點和使用條件的限制（Meredith & Tisak, 1990; Stoolmiller & Bank, 1995），更重要的是，它們反應不出因為「時間消逝」（passage of time）所造成的「成長」變化趨勢。所以，能夠克服此問題的方法學，自然而然地，便會受到大家的矚目，而 Meredith 與 Tisak（1990）所提出的「潛在曲線分析」（latent curve analysis）便是如此。後來，幾經後繼學者們（McArdle, 1986, 1991; McArdle & Anderson, 1990; McArdle & Epstein, 1987）陸續的改良與發展，遂逐漸發展成為當前竄紅的「潛在成長模式」（latent growth model, LGM）。

當代的「潛在成長模式」有一個基本假設，即是把「改變」與「時間消逝」（至少在研究者所關注的某段時間範圍內）之間，看成是具有某種系統的關聯性（Burchinal & Appelbaum, 1991）。而 LGM 應用結構方程式模型（structural equation modeling, SEM）方法學（尤其是其中的驗證性因素分析〔confirmatory factory analysis, CFA〕方法），引用潛在變項的概念，來說明此觀察到的改變組型（pattern of change），是與時間消逝之間具有關聯的，且可以被估算出其數值大小的（余民寧，2006）。當然，在 SEM 架構下，應用這種 LGM 方法學，還有一

個假設前提，那就是假設大約在同一時間內取得每個個體的資料，且取得資料的每一段時間間隔，也是每一個體都保持一致的。典型的「縱貫性質時資料」(longitudinal panel data)設計(即針對同一批受試者收集多波段[multiple waves]同一批變項資料的做法)，即是這種方法學取得分析資料的常用設計方法。

在LGM方法學的架構下，它多半都是用來探索和檢定下列的待答問題：

- (1) 跨時間的平均趨勢的形狀為何？
- (2) 起始狀態能否預測改變速率？
- (3) 兩組或多組的成長軌跡之間是否有差異存在？
- (4) 平均趨勢的改變速率或曲線程度可否預測重要的結果？
- (5) 與跨時間的改變之間呈現系統性關聯的變項有哪些？
- (6) 關於成長軌跡的理論假設都可獲得觀察資料的佐證嗎？
- (7) 在成長軌跡的形狀中，是否有顯著的個體間差異存在嗎？
- (8) 某個跨時間改變的變項會與另一個跨時間改變的變項之間，呈現相關嗎？

筆者認為Bijleveld、van der Kamp、Mooijaart、van der Kloot、van der Leeden與van der Burg(1998)所合著的專書，以及Duncan、Duncan、Strycker、Li與Alpert(1999)的著作，約可說是最早有系統介紹當代「潛在成長模式」方法學的專書。隨後，Taris(2000)補充寫了一本有關如何學習「縱貫性資料分析」方法的前傳，使得學習「縱貫性資料分析」的背景知識與方法更完備。但是，能夠鉅細靡遺介紹數學模式，並且引用實例分析講解清楚的總其成大作，還是非Bollen與Curran(2006)及第二版的Duncan等人(2006)著作莫屬；這兩本著作，此刻乃成為國際上學習LGM方法學的經典作品。由於這兩本經典作品的內容偏向數學模型的介紹與探討，對於非主修數學的學習者而言，閱

讀起來，仍然有一點點吃力；因此，Preacher、Wichman、MacCallum 與 Briggs（2008）補充寫了一本比較淺顯易懂的專書，專供非主修數學的學習者閱讀學習。

後繼的學者（如：McArdle, 1988, 1989; McArdle & Anderson, 1990; McArdle & Epstein, 1987），也紛紛據以演化出各式各樣的潛在成長模式，以用來表徵各種改變的面向（aspects of change），包括直性趨勢（linear trend）、二次式趨勢（quadratic trend）、或 S 型趨勢（S-shaped trend）等；例如，在每個測量時段內使用多個測量指標的潛在因素模式、運用多群族分析技術去評估跨時間發展所產生的交互作用問題、探索成長歷程的中介影響效果、偵測潛在的組別屬性、以及同時採用兩個或多個變項去建立軌跡模式等。這些改良的潛在成長模式，不僅允許研究者探討跨時間改變的個體間差異（interindividual differences）的問題，還能進一步分析造成改變的前因後果，同時也可以探究組別層次（group-level）的平均成長率（mean growth rate）與平均截距（mean intercept）的大小，更可以檢定各種理論假設的成長軌跡，並且能夠進一步探索「會隨時間改變」（time-varying）與「不會隨時間改變」（time-invariant）的共變數對成長因素的影響力。

總之，LGM 擁有 SEM 方法論的各種優勢，除了可以檢定模式的適配度、評估測量誤差的大小、和有效處理缺失值（missing data）的問題等，更能隨著特殊情境的需求，而彈性調整其軌跡模式的設定策略。就如 Curran 與 Willoughby（2003）所形容的，我們可以把 LGM 看成是站在「以變項為主的分析」（variable-centered analysis）或「以受試者為主的分析」（person-centered analysis）方法學十字路口上：縱向觀點（以變項為主）所研究的改變，是強調跨時間改變的變項平均趨勢（mean trends）；而橫向觀點（以受試者為主）所研究的改變，則是強調個體內的異質趨勢（idiosyncratic trends）——亦即指個體離均差趨勢

(individual departure from the mean trend)。這兩種研究面向，都提供 LGM 有個彈性、創新、且與時俱進的發展可能性，筆者認為它將成為未來探索「成長與改變」問題的顯學之一。

參、潛在成長曲線模式簡介

Preacher、Wichman、MacCallum 與 Briggs (2008) 所撰寫的專書《潛在成長曲線模式》，係針對非主修數學的學習者而來，該書比起 Bollen 與 Curran (2006) 與 Duncan 等人 (2006) 的專書來說，相對的較為淺顯易懂。然而，讀者還是必須先熟悉 SEM 方法學後，方才適合閱讀。

該書分成五章，第一章是簡介 LGM 的由來及各種相關的議題，第二章是介紹各種基本的 LGM 模型，第三章是討論 LGM 的各種延伸應用模型，第四章則是比較它與多層次分析模型 (multilevel analysis modeling) 之間的異同點，第五章則為摘要。筆者認為本書可以作為 SEM 的進階方法學專書，適合對 SEM 方法學已有基礎者的研究生或學者專家們，作為課外閱讀和自修之用。

參考文獻

- 余民寧（2006）。潛在變項模式：**SIMPLIS**的應用。臺北市：高等教育。
[Yu, M.-N. (2006). *The latent variable models: The application of SIMPLIS*. Taipei, Taiwan: Higher Education.]
- 余民寧（未出版）。縱貫性資料分析——**LGM**模型的應用。
[Yu, M.-N. (in press). *The longitudinal data analysis: The application of latent growth model*.]
- Bijleveld, C. C. J. H., van der Kamp, L. J. Th., Mooijaart, A., van der Kloot, W., van der Leeden, R., & van der Burg, E. (1998). *Longitudinal data analysis: Designs, models and methods*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Blalock, H. M. (1964). *Causal inference in nonexperimental research*. Chapel Hill, NC: University of North Carolina.
- Bollen, K. A., & Curran, P. J. (2006). *Latent curve models: A structural equation perspective*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Burchinal, M., & Appelbaum, M. I. (1991). Estimating individual developmental functions: Methods and their assumptions. *Child Development*, 62, 23-43.
- Curran, P. J., & Willoughby, M. T. (2003). Implications of latent trajectory models for the study of developmental psychopathology. *Development and Psychopathology*, 15, 581-612.
- Duncan, T. E., Duncan, S. C., & Strycker, L. A. (2006). *An introduction to latent variable growth curve modeling: Concepts, issues, and applications* (2nd ed.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duncan, T. E., Duncan, S. C., Strycker, L. A., Li, F., & Alpert, A. (1999). *An introduction to latent growth curve modeling: Concepts, issues, and applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gollob, H. F., & Reichardt, C. S. (1987). Taking account of time lags in causal models. *Child Development*, 58, 80-92.
- Kessler, R. C., & Greenberg, D. F. (1981). *Linear panel analysis: Models of quantitative change*. New York: Academic.
- McArdle, J. J. (1986). Latent variable growth within behavior genetic models. *Behavior Genetics*, 16, 163-200.

- McArdle, J. J. (1988). Dynamic but structural equation modeling of repeated measures data. In J. R. Nesselroade & R. B. Cattell (Eds.), *Handbook of multivariate experimental psychology* (2nd ed., pp. 561-614). New York: Plenum.
- McArdle, J. J. (1989). A structural modeling experiment with multiple growth functions. In R. Kanfer, P. L. Ackerman, & R. Cudeck (Eds.), *Abilities, motivation, and methodology: The Minneapolis symposium on learning and individual differences* (pp. 71-117). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- McArdle, J. J. (1991). Structural models of developmental theory in psychology. In P. van Geert & L. P. Mos (Eds.), *Annals of theoretical psychology* (Vol.7, pp. 139-160). New York: Plenum.
- McArdle, J. J., & Anderson, E. R. (1990). Latent variable growth models for research on aging. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (3rd ed., pp. 21-44). San Diego, CA: Academic.
- McArdle, J. J., & Epstein, D. (1987). Latent growth curve within developmental structural equation models. *Child Development*, 58, 110-133.
- Meredith, W., & Tisak, J. (1990). Latent curve analysis. *Psychometrika*, 55, 107-122.
- Preacher, K. J., Wichman, A. L., MacCallum, R. C., & Briggs, N. E. (2008). *Latent growth curve modeling*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Stoolmiller, M., & Bank, L. (1995). Autoregressive effects in structural equation models: We see some problems. In J. M. Gottman (Ed.), *The analysis of change* (pp. 261-276.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Taris, T. W. (2000). *A primer in longitudinal data analysis*. Thousand Oaks, CA: Sage.

