

動態複雜案例之處方性實驗研究 —管理學習實驗室、系統思考、績效與學習不對稱 A Prescriptive Experiment in Dynamic Complexity Task: Learning Laboratory, Systems Thinking, and Dissociation Between Performance and Learning

王思峰 *Sy-Feng Wang*

國立中山大學企業管理研究所
Institute of Business Management
National Sun Yat-sen University

(Received February 1994; revised March 1994; accepted May 1994)

摘要

動態複雜問題實為一重要而困難的課題，然而，直接關切於動態複雜案例的處方性研究不但不多，以往研究更疏於採系統性、客觀性的實驗室實驗法。本研究因而在利於學習的實驗條件下，操弄心智模式系統邊界與動態行為歸因二因子，期望能夠帶來深層學習與較佳績效。結果顯示，實驗操弄因子對績效有著正面的影響，但其效果約僅發生於前2~3局，然而，整體的績效卻隨著練習仍不斷的有著顯著改進，而且，僅有一位受測者顯示出深入的學習。回頭檢驗實驗設計之假設前提—受測者採用心智模式模擬策略，發現在大約自第三局起，大部份受測者採認知資源需求較低的前饋控制策略，這或使得實驗操弄約自第三局起失去作用，是以決策績效雖仍繼續改進，但受測者卻沒有深入的學習。最後，本研究概化了此「績效與學習不對稱」現象，並討論了“為何”與“如何”克服此不對稱問題的後續研究方向。

關鍵詞：動態複雜案例、管理學習實驗室、系統思考、績效與學習不對稱、系統動力學

Abstract

Studies conducted in recent years have shown that humanbeings are poor problem solver in dynamic complexity task. However, little prescriptive research was done by experimental method. This study examines the feasibility of improving performance and learning in dynamic complexity task by providing the learning aids of "system boundary of mental model" and "attribution of system's dynamic behavior". This paper reports a laboratory experiment in which subjects managed a set of reversible trials with a computerized Beer Game task, where the conditions for learning are excellent. Results indicate that the manipulations only worked in the 1st and 2nd trials. However, subjects' performance was still significantly improved through practice, but little deeper learning was detected in final. After carefully examining the cognitive strategies used by subjects, it is found that the effects of manipulation were eliminated after 3rd trial, wherein the mental model simulations strategy was replaced by the feedforward control strategy. The feedforward control strategy then caused the dissociation between performance and learning. Phenomenon of the dissociation is generalized. Methods to overcoming the dissociation are discussed.

Keywords: Dynamic complexity task, Learning laboratory, Systems thinking, Dissociation between performance and learning, System dynamics

壹、導論

遠自人類社群的形成，動態即是人類社會的本質，組織中很多重要的決策是多期而連續的(Horgarth, 1981; Sterman, 1989a)。近年來由於世界的快速變遷，問題與問題間的互依性(interdependence)漸成為企業系統的常態(Rockart 與 Short, 1991; Senge, 1990)，高度互依性使得動態課題的處理更加困難。因此，學習型組織的倡導人Peter M. Senge認為，現今大多數管理課題真正的槓桿點，在於了解系統的動態複雜(dynamic complexity)本質(Senge, 1990, 頁72)。所以，如何增進管理者處理動態複雜課題的能力，對理論與實務皆極具研究價值。

然而，近年來方興未艾的動態研究中，或僅考慮簡單線性的案例特性，疏於將真實世界的複雜性與互依性納入案例中，如Berry 與 Broadbent (1984, 1987, 1988)之動態控制案例(dynamic control task)研究系列；或著重於描述性的動態決策規則與決策偏差，而疏於處方性的議題，如Brehmer 與 Doerner 之微世界(microworld)系列研究(Brehmer, 1990; Brehmer 與 Doerner, 1993; Doerner, 1980)，與Sterman 等人之動態決策(dynamic decision making)系列研究(Diehl, 1992; Sterman, 1989a, b)。直接關切於動態複雜案例的處方性研究實不多，其中，以系統動力學(system dynamics)領域的管理學習實驗室(management learning laboratory)為主幹¹，但是，研究者多以田野的個案研究法為主，疏於以實驗室實驗的研究法，系統性、客觀性地比較所提出的處方因素(如：Graham 等人, 1992; Isaacs 與 Senge, 1992; Senge 與 Sterman, 1992)。

本研究則將以實驗室實驗的研究法，採管理學習實驗室的動態複雜案例，操弄「心智模式系統邊界」與「動態行為歸因」兩個系統思考(systems thinking)所建議處方性因素，以期能對動態複雜課題的處方性研究，有所增益。

貳、文獻探討與假說建構

近年來的動態決策研究發現，人類在處理動態複雜課題時，其決策績效遠低於最適化或次適化的標準(Brehmer, 1987, 1990; Diehl, 1992; Sterman, 1989a, b)。以下本研究將先歸納為何動態複雜課題如此難於處理的由來，而後探討處方性的管理學習實驗室研究，處理了那些困難，又尚未處理那些困難。最後，根據這些探討，據以形成本實驗的假說。

一、動態複雜課題的困難由來

動態決策的基本架構包含決策者與其所處的環境系統，在多期的決策機會下，環境系統因t期的決策與系統本身的變化而改變，決策者再依結果回饋(outcome feedback)進行t+1期的決策(Brehmer, 1990)。以系統動力學而言，這個架構基本上形成了一個決策的負回饋環。

理論上，決策者一方面將因決策負回饋環的作用，將系統導向所期望的目標狀態，另一方面， t 期的決策將受益於 $t-1$ 期的結果回饋，亦即，每多經過一期，決策者將多累積一期的經驗與學習 (Sengupta 與 Abdel-Hamid, 1993)。然而，這個推論並不見得成立，至少受限於下列條件，這些條件也就是為何動態複雜課題如此難於處理的由來：

(一) 案例的基礎結構 (infrastructure)

如 Simon 與 Langley (1989) 所言，因果歸屬、能嘗試其他方案與系統性地比較與判斷不同行為與結果等，皆為有效學習的一些要件。然而，以下四個案例的基礎結構特性，將嚴重的影響結果回饋的有效性：

- 時間滯延：若行動到結果間具時間滯延，決策者則難以將 t 期的結果歸因於那一期行動 (Einhorn 與 Hogarth, 1978; Senge, 1990)。
- 隨機性：環境系統的變化，將使結果回饋的可信度降低，決策者難以判別某一結果是導因於決策的影響，或導因於外生因素的干擾 (Einhorn 與 Hogarth, 1978)。
- 系統互依性：由於組織內部的高度互依性，某一部門的決策可能對其它部門有顯著影響，這影響在經過間接而滯延的過程後，反饋回原部門，如此，行動與結果在時間與空間的複雜交錯，使得決策者更難以對應其行動與結果 (Isaacs 與 Senge, 1992)。
- 不可逆性：真實世界中是不具可逆性的，而且，在前後時期互依性高的案例特性下，由於前期的決策將影響了後期方案的可能性空間，因此，同一種情境很難得以再出現，這使得決策者缺乏在同一情境下，不同方案之不同效果的資訊 (Brehmer, 1990; Einhorn 與 Hogarth, 1978; Isaacs 與 Senge, 1992)。

Diehl (1992) 以及 Paich 與 Sterman (1992) 的實驗研究更支持了這些論點，當案例的時間滯延愈長、系統的互依性愈強時，受測者的相對績效則因而愈差。

(二) 人類的心智能力

除了案例基礎結構帶來的困難外，人類的認知系統本身，亦為困難的重要由來。如 Brehmer 與 Doerner (1993) 所言，動態複雜案例之處理，需要多樣的認知活動，至少包括傳統心理學所區分的思考、問題求解、計劃、決策，以及將這些活動有效整合的能力，方能有效地獲取知識及應用知識。

然而，目前的研究顯示，傳統各種個人特質指標與動態案例的決策績效似乎無關 (Brehmer 與 Doerner, 1993; Funke, 1991)，而與人類處理動態案例的心智能力有關，亦即，人類似乎缺乏表徵 (represent) 動態複雜系統之良好表徵方式 (Senge, 1990; Forrester, 1978)，受測者常具有下列不適切的處理特性 (Brehmer 與 Doerner, 1993; Doerner, 1980; Sterman, 1989a, b)：

- 以因果序列 (causal series) 而非因果網路 (causal nets) 的思考方式，以致於無法慮及決策的副作用。• 傾向於將注意集中於短期與立即的效果，而忽略較長期而根本的過程。

- 傾向於「開環式」(open-loop) 歸因，亦即將系統的動態行為歸咎於外生因素的變動，而疏於知覺到其乃導因於決策與系統間的反饋過程，亦即疏於採「閉環式」(close-loop) 歸因。
- 失於認知及處理行動滯延與資訊滯延。
- 對於預測與控制具指數成長特性的變數，其處理有困難。
- 對於造成系統主導環路移轉之非線性作用並不敏感。

(三)組織學習方面的困難

除個人決策方面的困難外，Isaacs 與 Senge (1992) 更進一步地指出在組織學習(organizational learning)時的困難。簡言之，各決策者對同一課題的心智模式可能不同，這不但造成同一資訊有著不同之解釋，而且由於組織內部的習慣防禦(defensive routines)機制，使得資訊的解譯過程難以攤出討論，這使得策略的發展過程類於政治協商，而非比較並檢驗不同方案假設。

三、管理學習實驗室的貢獻

管理學習實驗室乃系統動力學家根基於 Schoen(1983)所提議之虛世界(virtual world)概念，所創造出的一個新的學習環境，在此新學習環境中，可免除真實世界一些重要而根本的學習限制，使管理者能不斷地經由實踐而學習。此新學習環境能夠：(Isaacs 與 Senge, 1992; Senge, 1990)

- 具有行動之可逆性，可反覆的練習同一情境條件。時間被壓縮或拉長，以適當的變化速率呈現之。譬如，快速的電腦模擬，可將一年後方產生影響的效果，於幾秒或幾分後即呈現。
- 在不損及模式效度下，簡化真實世界之複雜與隨機性，尤其是外生因素的干擾。
- 消除實驗的風險，包括財務風險、面子問題、同儕壓力與組織的習慣性防禦等。

如此，經由管理學習實驗室的建立，提供快速而不混亂的結果回饋，並提供相對較低風險的環境(詳參 Isaacs 與 Senge(1992)對如何營造低風險環境的討論)，使管理者不同之心智模式能得以攤出與檢驗，管理者亦可有機會測試不同方案，而豐富的資訊利於系統性地比較結果，對結果之解釋亦因此而能較客觀，譬如，當一政策短期不利而長期有利時，在真實世界中就可能因短期的觀察而放棄，但在虛世界則能正確地評估之。因此，這四個特性可說大幅地減弱了在案例基礎結構與組織學習上的困難。

然而，這四個特性對於另一大類的困難—人類的心智能力，卻無所輔助。因此，系統動力學的規範性想法，乃提供一些輔助概念化的工具，譬如，除了告知受測者案例系統的變項關係與滯延關係等外，更提供一些系統思考(systems thinking)的工具，如系統基模、存量流量圖與因果回饋圖等，以輔助受測者表徵此動態複雜系統(Bakken 等人, 1992; Graham 等人, 1992; Senge 與 Sterman,

1992)。這個規範性想法，乃基於兩個假設前提：

1. 系統思考為表徵動態複雜系統的良好方式。
2. 受測者採心智模式模擬 (mental model simulation) 的認知策略。

就假設一而言，本研究深信系統思考確應為表徵動態複雜系統的良好方式，畢竟，這經過系統動力學家四十多年來的驗証，而且，起碼就筆者所知，尚未有第二種規範性的思考模式（純數學方式不算，因為一般人難以採此方式思考）。

就假設二而言，所謂心智模式模擬策略，乃研究者期望受測者採用的認知策略。亦即，受測者根據已有之資訊與知識，在腦海中形成一心智模式以表徵出案例系統，根據此心智模式醞釀出政策，並模擬或推論政策之可能效果，而後在實際案例中測試之，根據測試結果，進而再修正心智模式與政策 (Isaacs and Senge, 1992)。提供系統思考的輔助工具，基本上即期望能降低心智模式模擬策略的困難度，因此，除非受測者採心智模式模擬策略，否則操弄將無效。譬如，若受測者採嘗試錯誤地隨機下決策，那麼此操弄當然無效。

本研究基本上即以實驗室實驗法，檢驗此規範性想法。假如所提供的系統思考輔助，能有效的增進決策績效與學習，那麼將有客觀性與系統性的證據支持此規範性想法；相反的，假如實驗結果顯示操弄無效，那麼有可能此規範性想法不適切，也有可能是假設二的前提不成立。

三、實驗條件與假說

由以上的文獻探討可知，動態複雜課題之處理困難，其由來有三：案例的基礎結構、組織學習與人類的心智能力三方面，而管理學習實驗室的四項基本特性，已大幅削弱基礎結構與組織學習兩方面的困難，然而，對於心智能力方面的困難，研究者所提議的規範性想法，則未經客觀而系統性的實驗驗證。

因此，本研究擬在下列典型的管理學習實驗室的條件下，操弄兩個系統思考的學習輔助，以觀察其在決策績效與學習的效果。這些實驗條件包括：（注意，這些條件是實驗組與對照組皆同的）

1. 具有可逆性：受測者有重覆練習五局的機會。
2. 快速而精確的結果回饋。
3. 案例的隨機性與外生因素的干擾極低。
4. 鼓勵學習，並削弱失敗的風險，亦即五局中僅取績效較佳的三局計算報酬，而且最高與最低報酬間，僅有 100 元的差異。
5. 個人決策，免除組織學習方面的困難。
6. 告知案例系統各變項間的關係，包括數量關係與滯延期數。
7. 實驗前以存量流量圖，解說案例系統的實體流與資訊流。
8. 實驗前，所有的受測者皆施以約六小時的系統思考訓練。

這些實驗條件一方面大幅削弱了在心智能力方面外的困難（條件 1-6），另一方面則提供了驗証管理學習實驗室研究者規範性觀點的必要條件（條件 6-8）

，這將使實驗結果的解釋與推論，免除於這些條件存在與否的干擾。

此外，在實驗假說方面，由於系統思考本質上為一聚集的能力，擁有諸多子思考技能 (Richmond, 1993)，而且不同案例特性中所需要的心智能力不同。因此，實驗假說的選擇，便需與實驗案例的選擇同時考量。

本研究所採用的案例為 Beer Game (詳後文)，據 Senge (1990) 與 Sterman (1989a) 的分析，Beer Game 所最需要的系統思考能力為：(1) 心智模式的系統邊界是否適切，(2) 動態行為的歸因是開環式或閉環式，(3) 回饋知覺 (feedback perception) 的能力。前二者即為本研究所操弄的自變項，而後者則為本研究的學習目標，為測量的因變項。而本研究的假說即為：

- 心智模式具適切系統邊界之受測者，較諸不適切系統邊界者。
- 將獲得較高的學習指標，進而獲得較高的決策績效。
- 閉環式歸因之受測者，較諸開環式歸因者，將獲得較高的學習指標，進而獲得較高的決策績效。
- 歸因與系統邊界兩因子間，對學習與決策績效，應具有正面的交互作用效果

參、實驗設計

表1 顯示了本研究的實驗設計，為一 2×2 的完全因子與受測者間設計。操弄兩個因子：(1) 心智模式的系統邊界，分為“自身”與“體系”兩個水準 (level)；(2) 動態行為歸因，分為“開環式”與“閉環式”兩個水準 (level)。每個細格 (cell) 有 6 位受測者，每位受測者上機模擬五局，每局 50 期。

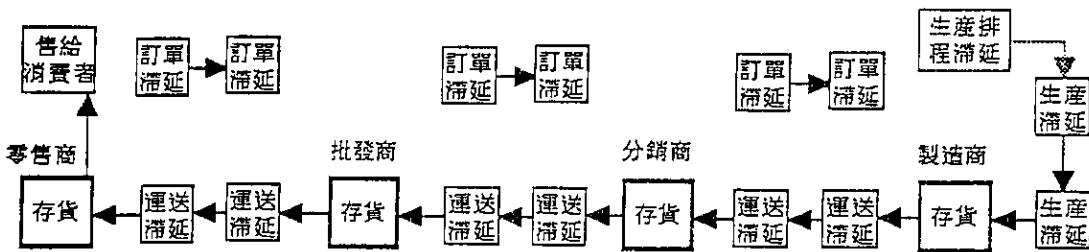
表一：本研究的實驗設計

		心智模式的系統邊界	
		自身	體系
動態行動歸因	開環式	6	6
	閉環式	6	6

一、實驗案例

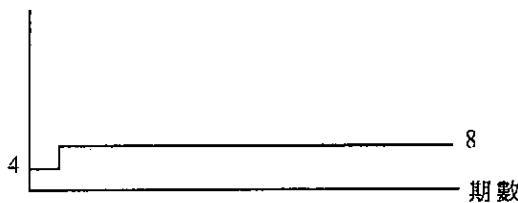
本實驗採用 Beer Game 為實驗案例，Beer Game 所處理的乃串聯式產銷體系或生產體系中，上游波動程度遠較下游波動程度為高的古典課題 (Forrester, 1961; 黃一魯, 1987)。遠在五〇年代，Forrester (1961) 即已建構一系統動力學模式解釋此波動現象，並於六〇年代初期將電腦模擬模式簡化後，改編為紙面的模擬遊戲 (參：Jarmain, 1963; Lyneis, 1980, 頁 465-481; Sterman, 1989a; Senge, 1990, 頁 25-54)²

Beer Game 之基礎結構如圖1 所示，有零售商、批發商、分銷商與製造商四個角色，訂單的資訊流由下游往上游傳遞，而貨物的實體流則由上游運往下游



圖一：Beer Game 之基礎結構

消費者需求



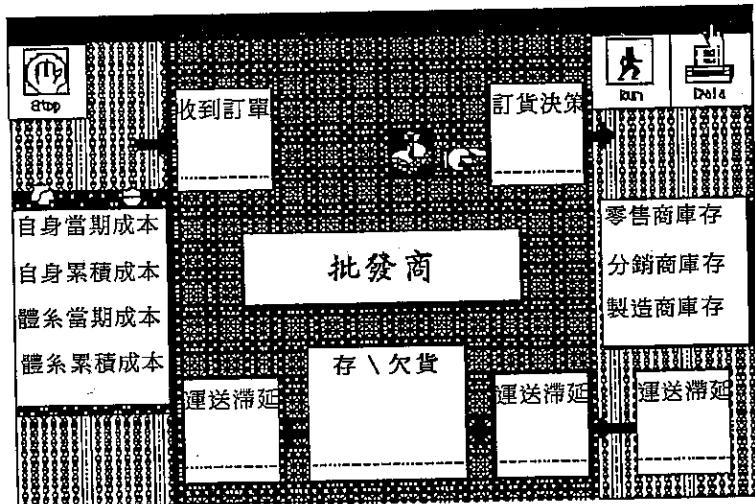
圖二：Beer Game 之消費者需求變化型態

，資訊流與實體流皆各具時間滯延，滯延的期數明白的顯示在版面上。案例中唯一的未知數是消費者需求，而且，消費者需求的變化如圖2所示，僅在第四期時由4跳至8，為一極平穩的情境。在本實驗中，第一局的消費者需求即為如此，而其餘四局的型態基本上皆類似圖2。因此，案例的隨機性與外生因素的干擾極低。

Beer Game乍看之下似乎很簡單，然而事實上它是一個23階的非線性微分方程系統(Sterman, 1989a)，據史隆管理學院系統動力學研究群幾千次的經驗，不論受測者學歷、年齡、職業、職位、以及國籍之不同，每次的系統行為幾乎具有相同的型態：市場需求僅小幅上揚4個單位，但愈往上游，訂單與存貨的震盪愈大，甚至達幾百單位(Senge, 1990)。

為了更快速的結果回饋，本研究將Beer Game由版面改編為電腦化的案例，但所有參數與結構皆相同。此外，為避免多決策者的干擾，除由受測者扮演一個角色的決策外，其餘三個角色的決策，皆採Sterman(1989a)回溯的決策方程，以電腦程式取代之（參下文註1）。實驗共進行五局，前三局時受測者扮演批發商的角色，後兩局則扮演製造商，每局皆有50期的決策。

圖3所示即為批發商之電腦介面，受測者唯一的決策為訂貨（？處），決策任務乃使存貨與欠貨之累積總成本最小（存貨呈現負值時，即為欠貨），其中，每期每單位存貨成本為0.5，每期每單位欠貨成本為1。除了本身角色的六項資訊外，螢幕左邊提供了績效指標數值，螢幕右邊提供了其它三個角色之存貨狀況



圖三：電腦化 Beer Game 之批發商介面

，但不同於螢幕中央的存\欠貨資訊，這三個資訊在欠貨時只以零呈現，而非呈現負值，以避免受測者能由兩期存欠貨的差額，獲得完全的市場需求資訊。最後，所有的資訊皆需以滑鼠促動後，方顯示於螢幕上，而電腦將自動記錄受測者觀察的資訊與時間。

二、受測者

受測者為 24 位修習中山大學財管系一年級企業概論之同學，24 個受測者隨機分派至 4 個細格中。五局中僅取績效較佳的三局計算報酬，而且最高與最低報酬間，僅有 100 元的差異，以降低失敗的風險。此外，已向同學強調，案例的表現與課業成績無關。

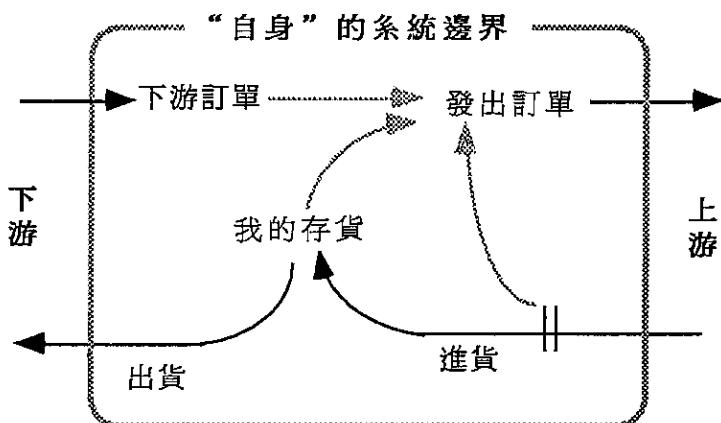
三、實驗操弄

據 Senge (1990) 與 Sterman (1989a) 的分析，Beer Game 所需要的系統思考能力為：(1) 心智模式的系統邊界是否適切，(2) 動態行為的歸因是開環式或閉環式，(3) 回饋知覺的能力。前二者即為本研究所操弄的自變項，而後者則為本研究的學習目標，為測量的因變項。

系統邊界的選定，為系統動力學在建構模式的古典課題。適切的系統邊界為模式效度的必要條件，選擇錯誤的系統邊界，而不論多努力，其模式效度將非常低。心智模式基本上亦為模式的一種，同樣亦具有選擇系統邊界的課題。

基本上管理學習實驗室的研究者，期望受測者採用心智模式模擬策略：在腦海中形成一心智模式以表徵案例系統，再不斷得測試與修正心智模式，以獲取深入而知覺的學習。然而，假如受測者心智模式之系統邊界選擇錯誤，那麼深入的學習將無由發生。

在 Beer Game 中，據 Senge(1990) 大量資料的觀察（幾千次），絕大部份受測者心智模式的系統邊界如圖 4 所示，僅以自身角色為邊界：其決策行為單純是反應環境的刺激，當收到訂單愈多、存貨愈低時，發出訂單就愈多，此外，好一點的受測者會考量到發出訂單到進貨間的時間滯延（即交期），但只將其視為固定的常數。幾乎受測者知覺到自己與上下游間的強烈互動過程，也未能知覺到交期是一變動的變數。

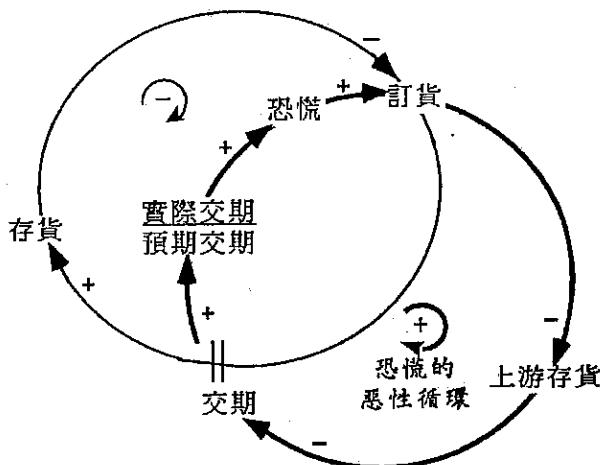


圖四：Beer Game 中絕大部份受測者心智模式的系統邊界

如圖 5 所示，在上游具有充足的庫存時，由下訂單到進貨入庫的時間為固定 4 期（參圖 1），然而在上游庫存不足時，實際的交期將大於 4 期。因此，分銷商的交期範圍為 $4 \sim 8 (=4+4)$ ，批發商的交期範圍為 $4 \sim 12 (=4+4+4)$ ，零售商的交期範圍為 $4 \sim 16 (=4+4+4+4)$ 。因此，當未考慮到上游的存貨狀況時，訂貨愈高，上游存貨愈不足，實際交期愈長，在預期交期仍為固定的常數下，造成恐慌，就向上游訂愈多的貨…，形成一惡性循環。同理，自己與下游亦同樣會形成此恐慌的惡性循環：由於我的存貨狀況將影響下游的交期，假如我未能有充裕的庫存，那下游會因交期的延長而恐慌，進而向我訂了超額的貨，再降低我的庫存，延長了交期，再向我訂更多的貨…。如此，在每兩個層級間，就存在一個恐慌惡性循環，層級愈高，主導系統行為的恐慌惡性循環數愈多。

要知覺到恐慌的惡性循環，需要兩個必要條件。首先，心智模式的系統邊界不能如圖 4 只限於自身角色，至少需考量到上游或下游，甚至應擴大為整個產銷體系 (Senge, 1990)。而如前文所述，絕大多數的樣本，其系統邊界僅如圖 4 只限於自身角色。

因此，在操弄「心智模式系統邊界」之因子上，對照組乃以自身角色的累積成本最小為目標，符合其原有的邊界；而實驗組則以整個體系的累積總成本最小為目標，藉以擴大實驗組所注意的範圍。



圖五：上下游互動之恐慌惡性循環

註：兩兩變數間的因果關係，在其它條件不變下，若為反向變動（一增一減），則標“-”號，如存貨愈多，則訂貨愈少；若為同向變動（同增或同減），則標“+”號，如訂貨愈多，存貨將愈多。而若一個因果回饋環路中，“-”的個數為偶數或零，則形成一自我增強（或自我衰退）的正回饋環，如圖中的恐慌惡性循環；若“-”的個數為奇數，則形成一自我節制的負回饋環，如圖中之訂貨→存貨→訂貨環。

就「動態行為歸因」之因子而言，若要知覺到恐慌惡性循環，則另一必要條件，乃不能夠採「開環式」歸因。亦即，在 Senge(1990) 與 Sterman(1989a) 所觀察的樣本中，幾乎絕大部份的受測者認為，自己的存\欠貨如此大幅波動，乃導因於消費者需求（唯一的外生因素），即是如此幅度的波動，雖然，實際上消費者需求僅如圖 2 所示，由 4 變至 8。而假如受測者一直抱持著這種開環式歸因，那麼如此的錯誤歸因方向，勢必將無法發現正確的道理。唯有當受測者將歸因方向往系統的內部結構想時（即閉環式歸因，或內生觀），方有可能發現主導系統波動行為背後之深層結構。

因此，在操弄「動態行為歸因」之因子上，對照組乃在案例說明時告知：「據前人經驗…，若要求得好成績，那麼對消費者最終需求變化型態的掌握，是非常重要的，…如真實世界一樣，誰能掌握消費者的需求，他就能將存貨降到最低，也不會有缺貨的現象」，這個操弄基本上符合受測者原有的歸因方式；而實驗組則一方面在案例說明時告知：「據前人經驗…，若要求得好成績，那麼就不應該將注意力放在猜測消費者最終需求的變化型態，而是應該將注意力放在內部結構上，…如真實世界一樣，消費者最終需求是我們永遠無法作正確的預測，與其一直猜測它，不如將注意力放在我們可以控制的內部的結構中」；另一方面，在

第一局結束後，則告知受測者真實的消費者需求變化型態（如圖 2）。在 Senge(1990) 與 Sterman(1989a) 的經驗中，這樣的回饋，通常令受測者非常驚訝，甚至震驚。如此，藉由這種驚訝的張力，加強實驗組探求內部結構的閉環式歸因。

此外，由於所有的受測者皆受過約 6 小時的系統思考訓練，因此不應懷疑閉環式歸因的受測者，其不了解所謂「內部結構」的意義。

四、因變數

本研究主要關切的因變項為決策績效與學習。決策績效由存貨成本與欠貨成本合計之 1-50 期的累積總成本衡量之，包括整個產銷體系的累積總成本，與所扮演角色本身的累績總成本。

本研究所期望受測者學習的目標，乃知覺到圖 5 的恐慌惡性循環，此學習指標不僅反映著受測者是否了解案例之主導結構，而且，亦反映著系統思考中一個重要的能力—回饋知覺，亦即，知覺到自身與環境間的互動回饋過程之能力。簡言之，顧客的需求（下游發出的訂單）並不是外生的，下游恐慌所產生的假性需求，乃部份受我們的影響，我們過去的行動（未有足夠的存貨）將造成我們現在與未來的問題（欠貨以及未來大量的庫存）。恐慌惡性循環的知覺，由實驗後問卷測量之：

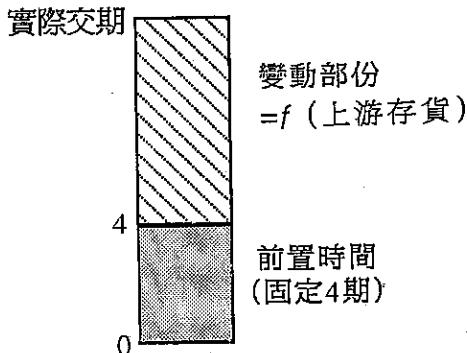
- 假如你現在的角色為批發商，你認為你的決策是如何地影響到上游（分銷商與製造商），再經由上游回頭地影響到你自己的狀況（如：訂貨、存貨等）？
- 假如你現在的角色為批發商，你認為你的狀況（如：訂貨、存貨等）會不會影響到下游後（零售商）後，再經由下游回頭地影響到你自己的訂貨決策？假如有影響，如何地影響？

除了決策績效與學習指標外，另三個因變數則作為過程檢驗之用，分別為：觀看的資訊與時間、訂貨決策的預先反應程度、與時間滯延的考量。受測者所觀看的資訊與時間將由電腦自動記錄；而訂貨決策的預先反應程度，則根據受測者在每局初期之訂貨決策相對於其所收到訂單之比例衡量之。亦即，若受測者在收到訂單仍為穩定時，即已增加了訂貨，顯示其預先反應的程度較高。其由下式衡量之：

$$\sum_{t=1}^{T_e} \text{訂貨決策} / \sum_{t=1}^{T_e} \text{收到訂單量} \quad (1)$$

，其中 T_e 為收到訂單量大於或等於消費者需求之階梯躍起量時之最近期數

就時間滯延的考量而言，我們可將圖 5 恐慌惡性循環之實際交期（由訂貨到實際入庫存的時間），拆為固定 4 期的前置時間與因上游庫存狀況而變動的部份，茲圖示如圖 6。理論上，知覺到交期的變動部份，與知覺到恐慌惡性循環，應具有相當高的相關性，亦即，除非受測者能知覺到交期是一變數，且為上游存貨的函數，否則，受測者將難以再深入的知覺到恐慌惡性循環。相反的，固定 4 期的前置時間，早於實驗前介紹給受測者，或許在第一局時，如 Sterman(1989a) 之



圖六：實際交期的拆解

樣本，僅有部份受測者考量此因素³，然而如 Brehmer(1990) 之研究結果，人類對這種實體流的固定前置時間，將隨著練習而有大幅的進步。

因此，知覺到交期的變動部份，所反映的是深度的系統思考學習，為知覺到恐惱惡性循環之前兆。然而，前置時間的考量，則非反映著深層學習，僅是一種隨著練習而熟練的程序型知識。所以，由受測者處理時間滯延的深度，將可提供另一檢驗學習過程的指標，亦即，高學習的受測者，將不僅止於考慮到固定的前置時間，亦將進一步的考慮到交期是上游庫存的函數。

在每一局結束時，受測者需簡單的回答下列開放式問題，本研究將由回答中判別其考慮的時間滯延層次。

- 本次經營時，您是如何作決策的？亦即，您考慮那些因素？如何考慮？
- 整體來說，這次您的經營政策是怎麼樣？為什麼這樣？
- 在這次經營中，是否發現一些新的東西？假如有，是什麼？

五、實驗程序

本實驗之進行約需三小時，共進行五局的模擬，每局 50 期。實驗開始前先進行案例說明，告知受測者案例系統各變項間的關係，包括數量關係與滯延期數，並以如圖 1 之廣義存量流量圖，解說案例系統的實體流與資訊流。受測者並可在實驗期間，隨時參考該圖。

受測者在前三局扮演批發商，後兩局則扮演製造商。在每局結束時，在如前文所述的開放問卷中，受測者需簡單的報告其決策原則、策略與新發現，以鼓勵知覺性的學習 (Graham 等人, 1992)，並作為測量工具。五局結束後，則填寫另一份問卷，以測量是否知覺到恐惱的惡性循環。

最後，在實驗前，所有的受測者皆經過約 6 小時的系統思考訓練，包括實際的分析一個案。此訓練在實驗前三個月於課堂中舉行，中間則介紹其它分析方法（如策略分析），以避免架構效果 (frame effect) (Kleinmuntz 與 Thomas, 1987)，亦即，避免受測者感覺到本案例需採那種決策方式之暗示。

表二：體系績效指標與自身績效指標觀看時間差距之變異數分析

變異來源	SS; Wilks' Lamda	F	Prob.
受測者間 (df=1.20)			
歸因 (A)	3010.4	2.994	0.099
邊界 (B)	6762.8	6.727	0.017
A*B	0.1	0.000	0.991
受測者間 (df=4.17)			
複試因子 (T)	0.789	1.139	0.372
A*T	0.806	1.024	0.423
B*T	0.463	4.925	0.008
A*B*T	0.608	2.735	0.063

肆、實驗結果

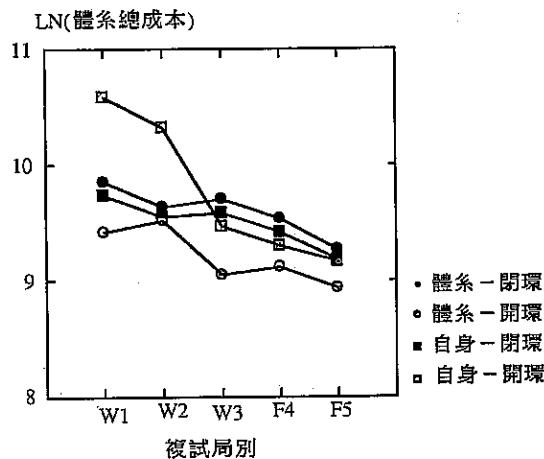
一、操弄檢驗

Beer Game 具有一動態複雜系統常見的特性：局部最佳並不等於整體最佳，而且追求局部最佳的政策，不但常使整體績效變差，也常反而使局部績效也變差 (Senge, 1990; 楊碩英, 1992; 謝長宏, 1987)。在 Beer Game 中，若追求自身角色的成本最低，則反可能造成整個體系成本的上揚，與自身成本的增高。這個特性與「心智模式系統邊界」及「動態行為歸因」因子，理論上應有相當的相關性。因此，本研究以受測者所注意之績效指標類型，進行操弄檢驗分析。

如前文圖 3 所示，受測者可觀察兩個類型的績效指標：整個體系的成本與自身角色的成本，此二者觀看時間的差距（體系減自身），即為表 2 變異數分析所使用的因變數。差距的正值愈高，表示愈重視整個體系的成本；而差距的負值愈大，則相反的愈重視自身角色的成本。結果顯示，「心智模式系統邊界」因子為“體系”者，在績效指標的觀看類型上，較諸“自身”者顯著的較重視整個體系成本 ($p < 0.05$)；而且，“體系”者其平均數隨著局數而增加，而“自身”者則隨著隨著局數而降低，邊界因子與複試因子之互動達 0.01 之顯著水準。另一方面，在「動態行為歸因」因子上，“閉環”者之績效指標觀看類型，亦較“開環”者更重視整個體系成本 ($p < 0.10$)。因此，有證據顯示，實驗操弄確具有效果。

二、決策績效

由於 Beer Game 案例中具有造成指數成長之正回饋環（即恐慌惡性循環），所以為了不違反變異數分析的假設，本研究將決策績效取對數轉換，殘差分析顯示轉換效果不錯。圖 7 所示即為四組樣本在五局之體系總成本對數值之平均數



圖七：四組樣本之體系總成本對數值平均數的五局趨勢

，整體而言，各組皆隨著練習降低了成本，複試因子達 0.001 的顯著水準 (Wilks' Lamda = 0.362, F(4,17)=7.5, p = 0.001)。以自身累積成本為指標，其結果與體系總成本的分析相同。

在實驗操弄之主效果方面，首先就「心智模式系統邊界」因子而言，體系邊界之五局平均成本對數值為 9.409，低於自身邊界之 9.634，達 0.10 的顯著水準 (F(1,20)=4.221, p = 0.053)；此外，若進一步個別分析前三局（扮演批發商）與後兩局（扮演製造商），結果顯示，扮演批發商之前三局，體系邊界之平均成本更顯著較低，達 0.05 的顯著水準 (F(1,20)=5.687, p = 0.027)，但扮演製造商之後二局則無顯著差異；此外，若以自身累積成本為指標，其結果仍相同。另一方面，就「動態行為歸因」因子而言，不論五局綜合分析，或前三局與後兩局之個別分析，閉環歸因與開環歸因之績效，皆無顯著差異；自身累積成本之指標，分析結果仍相同。

在因子的互動效果上，如圖 7 所示，“自身一開環”組在前兩局之體系總成本明顯的較其它三組為高，然而在後三局則相近；而“體系一開環”組在五局中皆有最低之平均數。五局綜合分析之互動效果約達 0.10 之顯著水準 (F(1,20) = 3.259, p = 0.100)，前三局（扮演批發商）之分析亦達 0.10 之顯著水準 (F(1,20) = 3.655, p = 0.070)，後兩局（製造商）則無差異。此外，Post Hoc 分析顯示，在第一局時，除“自身一開環”組之成本有高於“體系一開環”組之統計差異外 ($p < 0.10$)，其它細格間的比較皆無顯著差異；而第二局後，所有細格間的比較皆無顯著差異。另外，自身累積成本指標之分析結果仍相同。

最後，在受測者內的分析中，除上述之複試因子有顯著效果外 ($p < 0.001$)，所有其它實驗因子與複試因子之交互作用皆不顯著，這顯示績效雖隨著練習而有顯著改進，但是改進幅度與實驗操弄無關。

整體來說，受測者的決策績效隨著練習而有顯著的改進，但是改進幅度與實驗操弄無關。而「心智模式系統邊界」較適切者（體系），其決策績效較佳，尤其在同為閉環式歸因的條件下，但其效果約僅發生於前2-3局。然而，在同為閉環式歸因的狀況下，「心智模式系統邊界」對決策績效則無顯著影響。或許，這是由於內部結構的強調（閉環式歸因），使自身邊界的受測者亦考慮到上下游的狀況。

三、學習

在知覺恐慌惡性循環的學習指標上，令人驚訝的，24位受測者中，僅有一位能在事後問卷中報告出恐慌惡性循環。雖然這位受測者如同預期的，產生在“體系邊界—閉環歸因”組中，但是此低比例使我們無法有統計上的信心，判別其乃實驗操弄的效果。

進一步回溯實驗中問卷之報告，雖然有92% ($=22/24$) 的受測者在決策時考量時間滯延，然而，大部份的受測者傾向於將時間滯延視為常數，僅考慮到如圖6中的固定四期之前置時間，僅有五位 (20.8%; $=5/24$) 受測者知覺到交期是變動的，而且五位中僅有二位 (8.3%, $=2/24$) 知覺到交期是上游存貨的函數，而其中一位即為知覺恐慌惡性循環之受測者。若以時間滯延的知覺層次進行變異數分析⁴，所有實驗操弄的效果亦皆不顯著。

這個結果是令人驚訝的，不僅由於實驗操弄因子對學習指標無顯著影響。而且，整體而言，決策績效隨著練習有著顯著的改進，但是卻未發生顯著的深入學習。這種決策績效與學習不對稱現象，顯示了受測者可能有著不需透過學習即可改善績效的它種途徑。下列之迴歸分析支持了此種途徑的存在。前三局之時間滯延指標與績效的迴歸分析顯示（第四五局之時間滯延指標並沒有任何改善，所以僅取前三局），雖然考量時間滯延對績效有著正面的影響（迴歸係數達0.10的顯著水準），但時間滯延指標對績效變異的解釋力相當低： R^2 僅0.05，Adjusted R^2 僅0.036。因此，應當存在著其它因素，能更有效地解釋績效的變異，亦即，能使受測者在沒有深入學習的狀況下，仍能不斷的改進其決策績效。

$$Y_{it} = 9.984 - 0.416 * D_{it} \quad (2)$$

$$(p = 0.000) \quad (p = 0.059)$$

，其中

Y_{it} ：第*i*個樣本在第*t*局 ($t=1 \sim 3$) 之體系總成本對數值

D_{it} ：第*i*個樣本在第*t*局之時間滯延指標編碼，僅取0~1尺度

，0為未考慮時間滯延，1為有考慮時間滯延

（若取註2的0~3尺度，僅使模式的解釋力更差）。

$N = 72$

四、績效改進的其它途徑

回溯受測者所報告的決策方式，有相當多的受測者隨著模擬局數的增多，而愈來愈有信心的採用“預先反應”的決策方式。亦即，受測者在期初所收到的下游訂單未有變動前，即已預先提高了向上游的訂貨量。此預先反應決策方式的效果，可用恐慌惡性循環之結構預期的：當預先反應於下游的訂單時，將使下游得以有較充裕的貨源，較不會使下游進入恐慌的惡性循環中，整個體系的成本因而得以大幅下降，而自身成本在長期亦將較優；然而，若預先反應過度，一開始就向上游大量的訂貨，那麼等於是提早啓動了上游之恐慌惡性循環，這時反將增高成本。因此，成本與預先反應程度間，大約呈一U型曲線。

模擬結果亦顯示如此，若以每局初之累積訂貨決策相對於收到訂單累積量之比例，衡量受測者在某一局中「訂貨決策預先反應程度」（詳前文），則成本與訂貨決策預先反應程度呈一U型曲線，其鞍點約在1.3~1.5間，鞍點前的曲線較陡、斜率較大，鞍點後的曲線則較平緩，斜率較小。

茲將五局之體系總成本對數值與「訂貨決策預先反應程度」採二次式迴歸，在去掉4個異常點後，其結果如下式所示， R^2 達0.433，Adjusted R^2 達0.423，所有的參數在雙尾T檢定皆顯著的不等於0 ($p < 0.000$)，整體迴歸效果亦極顯著 ($F(2,114) = 43.022$, $p < 0.000$)。此外，加入時間滯延指標或實驗操弄因子，對模式的解釋力皆無明顯的貢獻。這顯示，「訂貨決策預先反應程度」為解釋決策績效之最有力因素。

$$Y_{it} = 10.920 - 1.450 * PRO_{it} + 0.243 * PRO_{it}^2 \quad (3)$$

$(p < 0.000) \quad (p < 0.000)$

其中

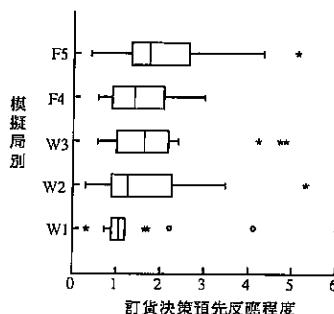
Y_{it} ：第*i*個樣本在第*t*局 ($t=1 \sim 5$) 之體系總成本對數值

PRO_{it} ：第*i*個樣本在第*t*局之「訂貨決策預先反應程度」

$N = 116$

圖8顯示了五局中，所有受測者之「訂貨決策預先反應程度」之分佈型態，第一局時除了六個異常點外，大部份的受測者的訂貨決策約皆等於其所收到的訂單數。而第二局時約有一半多的受測者採預先反應（注意其具有較廣的變異），但約有1/4的受測者則採成本導向的行動，亦即其訂貨較收到的訂單為少（訂貨決策預先反應程度 < 1 ），以降低當期的庫存成本。在第三局與第四局時，則有更多的受測者採預先反應，而且過度預先反應的比例在減少，成本導向的行動亦較低。最後，在第五局時，採預先反應的受測者較第三局與第四局更多，約75%的樣本其訂貨決策預先反應程度 > 1.3 ，但其變異卻較大，或許其乃由於新採預先反應的樣本過度反應之故。

由以上的分析可知，整體而言，隨著模擬局數的增多，有愈來愈多的受測者



圖八：五局中「訂貨決策預先反應程度」之分佈型態

註：星號與圓圈為異常極端點，四方箱的中線約為中位數，四方箱的兩端約同於4分位數。

，愈來愈有效的、也愈來愈穩定的採用預先反應的決策方式，因此，決策績效也得以隨著練習而改進。

然而，受測者是如何的發現此決策方式呢？實驗操弄因子是否有所影響呢？重複度量的變異數分析顯示⁵，除了複試因子達0.05的顯著水準外 (Wilks' Lambda = 0.547, F(4,17)=3.523, p=0.029)，實驗操弄對預先反應決策方式之採用，皆無顯著影響。這個結果是合理的，因為若受測者有深入的學習，那麼一旦知覺到恐慌惡性循環的作用，那麼其應將採取預先反應決策方式。但如前文所述，僅有一位受測者能知覺到恐慌惡性循環，並據以採預先反應的決策方式。因此，其餘受測者發現此決策方式的途徑，並非透過深入學習的過程，實驗操弄自然對其無影響。

回溯受測者決策方式之問卷回答，在20位至少曾兩局採預先反應的受測者中，除一位知覺到恐慌惡性循環的受測者，以及3位沒有報告其想法的受測者外，16位 (= 20-1-3) 受測者中有87.5% (=14/16) 的樣本是基於下列兩個方式而採預先反應的⁶：(1)由前局的經驗得知，從下游收到的訂單會有先持續的上揚再下跌的趨勢，因此基於預期心理，則先預先反應此上揚的趨勢。(2)由上游存貨資訊的增減，判斷幾期後將收到上揚的訂單，因此預先反應⁷。表3的相關係數分析更顯示了，由第三局起，上游存貨資訊觀看時間與訂貨決策預先反應程度，有著顯著的正相關。值得注意的，相關分析與圖8之分怖型態分析，都顯示了受測者大約自第三局起，方較穩定的使用預先反應的決策方式，這個時間與前文決策績效的分析有相當的一致性，亦即，實驗操弄因子對績效的影響約僅發生於前2-3局。

畢竟，不論是因前局趨勢的經驗，或因上游存貨增減資訊而採預先反應，基本上都不需深入的了解恐慌惡性循環的結構，所需的認知努力，較諸心智模式模擬策略之學習過程而言，相對的低了許多。因此，也無怪乎，實驗操弄因子對績效的影響約僅發生於前2-3局⁸，因為整體而言，大部份的受測者在第三局左右

，主要採用此認知努力需求較低的決策方式，使其得以在缺乏深入的學習下，仍能隨著練習而改善其決策績效。

表三：上游存貨資訊觀看時間與訂貨決策預先反應程度的相關係數分析

	訂貨決策預先反應程度				
	第一局	第二局	第三局	第四局	第五局
零售商存貨資訊	0.173	0.030	0.456*	0.549**	0.598**
批發商存貨資訊				0.611**	0.342
分銷商存貨資訊				0.434*	0.472*

註1：*： $p < 0.05$ ，**： $p < 0.01$ 。

註2：前三局扮演批發商，後兩局扮演製造商。

五、討論與結論

一、主要發現

動態複雜問題之處理實為一重要而困難的課題，然而，直接關切於動態複雜案例的處方性研究不但不多，研究者更疏於以系統性、客觀性地的實驗室實驗研究之。本研究因而操弄了兩個在 Beer Game 案例中採心智模式模擬策略的必要條件：心智模式系統邊界與動態行為歸因，期望受測者能夠採用心智模式模擬策略的深入學習過程，並進而得以透過學習而改進其決策績效。

實驗結果顯示，實驗操弄因子對績效有著正面的影響，但其效果約僅發生於前 2~3 局，然而，整體的決策績效卻隨著練習仍不斷的有著顯著改進，而且，在五局結束後，僅有一位受測者顯示出深入的學習，絕大部份的受測者未發生顯著的深入學習。

回頭檢驗本研究的實驗條件與實驗操弄的假設前提，在下列條件下：(1) 具有可逆性，受測者可重覆練習五局，(2) 快速而精確的結果回饋，(3) 隨機性與外生因素的干擾極低，(4) 鼓勵學習，並削弱失敗的風險，(5) 個人決策，(6) 告知案例系統各變項間的關係，(7) 提供案例系統存量流量圖，(8) 施以系統思考訓練。這些實驗條件不但已大幅削弱了，動態複雜課題的處理與學習困難，而且，若給與實驗操弄因子的兩個輔助，假如受測者能在採用心智模式模擬策略的前提下，理論上實驗組的受測者應當能獲得深入的學習。

因此，採用心智模式模擬策略的前提，必需再加以檢驗。檢驗結果發現，或許在前 2~3 局時，實驗組因實驗操弄而較控制組偏向於採用心智模擬策略（參前文註 6），但是整體而言，大約自第三局起，大部份的受測者則皆採用另一種認知努力需求較低的決策方式：或基於前局趨勢的經驗，或基於上游存貨增減資訊，而採預先反應的決策方式，此方式在 Beer Game 案例中，能在不需深入了解恐慌惡性循環的結構下，即可隨著練習而顯著的改善其決策績效。亦即，採用心智模式模擬策略的假設前提，在約第三局後並不成立。所以，在上述極有利於

學習的實驗條件下，實驗操弄雖在前2局有發生一定程度的效果，然而，由於第三局起，受測者並非採用心智模式模擬策略，實驗操弄因而失去效果，是以，決策績效雖仍繼續改進，但受測者卻沒有深入的學習。

以上的分析透露了兩個重要的訊息：第一，系統動力學家的規範性想法：提供系統思考中一些輔助概念化的工具，輔助受測者表徵動態複雜系統，以克服人類在處理動態複雜課題時屬於心智能力方面的困難。此規範性想法原則上並無錯誤，但其必要條件乃受測者採用心智模式模擬策略。假如受測者所採用的認知策略，不同於研究者所期望的心智模式模擬策略，那麼研究者所期望的學習將難以發生。

第二，在動態複雜案例中，學習與決策績效並非等同的，深入的學習確應帶來高績效，但是，高績效的來源並非只有透過學習的途徑。而決定學習與績效間是否對稱的，或乃受測者採用的認知策略。若受測者採用心智模式模擬策略，在給與適當的學習輔助下，學習與績效或應是對稱的；反之，若受測者不是採用心智模式模擬策略，那麼學習與績效或應是不對稱的。

以下本研究將分成三部份來討論此二訊息：(1) 學習與績效不對稱現象的概化，(2) 為何要克服學習與績效之不對稱，以及(3) 如何克服此學習與績效之不對稱。

二、學習與績效不對稱現象的概化

在本研究的實驗中所出現的學習與績效不對稱現象，本研究認為，此現象並非一孤立的事件，而是具有一定程度的普遍性。譬如，管理學習實驗室的研究者，常觀察到所謂的電視遊樂器現象(video game phenomena)：將學習案例視為電視遊樂器，著重於打敗電腦，而未能從中學習(Isaacs 與 Senge, 1992; Vennix, 1990)。這種電視遊樂器現象，可說是「績效與學習不對稱」之一特殊現象。此外，在 Paich 與 Sterman (1992) 之實驗研究中，亦有類似於本研究的發現：績效雖隨著練習改進，然而此改進導因於對案例的熟悉、以及採用以前局需求多寡為指標之控制方式等表面因素，而非導因於深度的學習。

甚至在 Berry 與 Broadbent(1984, 1987, 1988) 系列研究中，受測者面臨一至數個線性方程所組成之簡單動態案例⁹，控制績效與可口述知識間仍具有相當的不對稱性，而且是雙向的不對稱：練習顯著地改進了受測者控制的績效，但是卻無助於案例知識的改進；相反的，指導受測者如何控制案例的文字輔助，顯著的改善了回答問卷的能力，但卻無助於改善績效。

Richardson (1991, 頁332-335) 曾探討大量文獻發現，社會科學與系統理論中對回饋思想有兩大學脈：模控學脈(cybernetic thread) 與伺服學脈(servomechanisms thread)。此二學脈之關鍵區分之一，乃在於模控學脈認為動態性複雜系統是無法了解其精確的因果關係，然而，人類雖無法了解，但可用黑箱控制的方法控制該系統；而伺服學脈則關注於對動態行為背後系統結構之了解，並於了

解結構後，以調節的方式改善系統行為。

亦即，模控學脈的研究者所持的規範性想法，乃設計一些控制的方法，在不需了解系統的因果關係結構下，即可達成提高系統績效的目標。也就是說，若有適當的控制方法，績效的提高可不需透過結構的了解與學習而來。因此，此學習與績效不對稱現象，基本上與模控學脈的規範性想法一致。

因此，我們有理由相信，本研究出現的學習與績效不對稱現象，並非一孤立的事件，而是具有一定程度的普遍性。

三、為何要克服學習與績效之不對稱

或許有人會認為，既然有方法可不需透過了解與學習，即可提高績效，那麼似乎並不需要克服學習與績效之不對稱。這個想法是見仁見智的，或許在未來，動態複雜課題的處方性實驗研究，將有兩種不同的分支：一個分支或將傾向於把動態複雜模式當成田野研究的替代場所(Brehmer 與 Doerner, 1993)，就像實驗經濟學一般，在實驗室中，測試不同的制度對系統績效或決策績效的影響，譬如管理資訊系統的設計(Sengupta 與 Abdel-Hamid, 1993)、組織設計、群體決策方式…等。這分支或將強調於決策績效，而且為求符合真實世界，實驗條件中將不允許可逆性的存在，或許也不強調於學習條件的提供。

另一支則如同管理學習實驗室的想法，或將傾向於把動態複雜模式當成實驗操弄本身，期望受測者能透過不斷的上機模擬，由做中學習(learning by doing)，培養處理動態複雜課題的心智能力，進而得以將所學移轉(transfer)到真實世界中。因此，在這一分支中，實驗條件將與另一分支有所不同(譬如允許可逆性、提供利於學習的實驗條件等)，而其重點將強調於可移轉的深入學習，而非單求決策績效的改進。

本研究的目的與興趣在後一支。讓我們回頭分析受測者所採用的認知策略：不論基於前局趨勢的經驗，或基於上游存貨增減資訊，而採預先反應的決策方式，這種決策方式基本上屬於控制論中所稱的前饋控制(feedforward control)。前饋控制與回饋控制(feedback control)相類似，視系統內部結構為黑箱，在只需知道決策變項對目標變項之極性時，即可調整決策值以逼近目標；而前饋控制更以系統狀態的預測值為控制之依據，而非當期值(可參考控制論的教科書，金觀濤與華國凡(1988)為良好導讀)。

這種控制方式，就系統動力學而言，另外加上一目標導向之負回饋環。因此，不論前饋或回饋控制，此決策方式的效果，端視此負回饋環與其他環路之競爭下，其強度是否能長期的主導整個系統的行為。在Beer Game案例中，由於恐慌惡性循環的結構敏感於存貨之初始值，因此這決策方式是相當有效的。然而，假如案例結構不同時，此決策方式可能是無效，甚至將帶來負效果的(可參考：Senge(1990)頁20之“預先積極反應的迷思”或Richardson(1991)在頁325 326對黑箱控制缺點的理論性討論)。譬如，當案例主導結構不敏感於初始值時，則

在前幾期的預先反應決策方式則將無效。甚至即使在 Beer Game 的結構中，以前局需求趨勢進行前饋控制時，仍有著相當的副作用，譬如，一些受測者在問卷中報告：

- 本以為消費者需求會擴張得很快，但結果不然，…訂購數量太多，導至後期貨物停滯在廠內。
- 這次…預期前景會很好（註：需求將很多），因此一開始便大量訂貨，但後來由於預期錯誤，累積了庫存，因此末期訂貨量大降…。
- 這次希望在顧客需求提高前，就累積大量的存貨，只可惜存貨累積的太多，…最後累積的成本還是太高。

問題在於，預測本身改變了需求。當以前局需求趨勢預期本局之需求（指由下游收到的訂單），若預期未來將有高需求，因而提前預先反應，這使下游較不恐慌，造成實際所收到的訂單將較預期（即前局趨勢）為少，反而因此而過度累積了庫存。此外，更有趣的是，上文第一個受測者在下一局時報告：「需求比預估成長得太快，以致無法控制一時的成長」。這位受測者因上局實際需求較預期低，所以這局調降對需求的預期，而此預期又再次的影響本局的實際需求，結果反造成實際需求較預期為高。此外，更重要的，預先反應決策方式的可移轉性相當低：真實世界中的可逆性條件並不高，以往趨勢的經驗不見得會再度發生；而且，在實驗案例中所發現的“特殊”預測規則，基本上不一定能移轉到真實世界¹⁰，畢竟，實驗案例僅是真實世界的簡化。

採用心智模擬策略的學習方式則不然，心智模擬策略所學習的，是可以攤出來反覆檢驗與討論的深層學習。它可以因環境條件之不同，修正心智模式中的某項參數或關係，也可運用原有的心智模式，類比並移轉到另一個情境下。甚至，採心智模擬策略的過程，此過程本身就是另一種學習，尤其是應用在企業組織中時。亦即，透過管理學習實驗室，組織成員將各自的心智模式攤出，彼此檢驗、修正，除獲得組織學習外，更有機會發現一些原本隱藏著的橫桿點(Isaacs 與 Senge, 1992, Senge, 1990)。

因此，就管理學習實驗室這一支的處方性研究而言，績效與學習不對稱的現象是研究者所必需克服的問題。

四、如何克服學習與績效之不對稱

就如何克服學習與績效之不對稱而言，基本上這問題需要更多的後續研究方能回答，不過本研究的實驗結果已暗示了一些可能的方向。首先，決定學習與績效間是否對稱的，或乃受測者採用的認知策略。若受測者採用心智模式模擬策略，在給與適當的學習輔助下，學習與績效或應是對稱的；反之，若受測者不是採用心智模式模擬策略，那麼學習與績效或應是不對稱的。

因此，如何引發受測者採用心智模擬策略，應為一個重要的研究方向。或許，Berry 與 Broadbent(1988) 所提議的「案例顯著性」(task's salience)，仍能

應用到動態複雜案例中，不過在應用時需考慮案例特性之不同（詳參王思峰（1994）的討論）。此外，「對學習的態度」則可能是另一重要的引發因素（Diehl, 1992; Isaacs 與 Senge, 1992）。著重學習的受測者，或將有較高的機率採用認知資源需求較高的心智模式模擬策略；而著重績效的受測者，則或將有較高的機率採用其它認知資源需求較低策略（如回饋控制、前饋控制）。

其次，在引發受測者採用心智模擬策略的前提下，如本研究的實驗設計所示，或仍必需提供一些配合案例特性的輔助（如系統邊界與閉環歸因之必要條件），以克服人類在處理動態複雜課題時，屬於心智能力方面的困難。這時，系統動力學家原本的一些規範性想法，或將因心智模擬策略前提的克服，而具有高的參考價值，亦即，一些系統思考中輔助概念化的工具，或應將有輔助受測者表徵案例系統的效果（可參考：Bakken 等人, 1992; Graham 等人, 1992; Senge 與 Sterman, 1992）。

伍、結論

動態複雜問題之處理實為一重要而困難的課題，然而，直接關切於動態複雜案例的處方性研究不但不多，研究者更疏於以系統性、客觀性地的實驗室實驗研究之。本研究因而在諸都利於學習的實驗條件下，操弄心智模式系統邊界與動態行為歸因兩個因子，期望能夠帶來較深層的學習與較佳的決策績效。

實驗結果顯示，實驗操弄因子對績效有著正面的影響，但其效果約僅發生於前2~3局，然而，整體的決策績效卻隨著練習仍不斷的有著顯著改進，而且，僅有一位受測者顯示出深入的學習。回頭檢驗操弄因子會發生效果之假設前提——受測者採用心智模式模擬策略。發現整體而言，大部份的受測者在大約自第三局起，採另一種認知資源需求較低的決策方式：或基於前局趨勢的經驗，或基於上游存貨增減資訊，而採預先反應的前饋控制策略。或許正是由於假設前提之不成立，所以，約自第三局起實驗操弄因而失去效果，是以決策績效雖仍繼續改進，但受測者卻沒有深入的學習。

最後，本研究概化了此「績效與學習不對稱」的現象，強調此不對稱現象並非一孤立的事件，而是具有一定程度的普遍性。此外，本研究亦討論了“為何”以及“如何”克服此不對稱問題的後續研究方向。

註釋

[註一] System Dynamics 之中文翻譯，原謝長宏（1987）翻譯為系統動態學，但大陸的學者翻譯為系統動力學（楊通誼, 1991），除因 Dynamics 原意即為動力學，如流體動力學（Fluid Dynamics）、氣體動力學（Aerodynamics）等，而且 System Dynamics 乃研究動態行為背後的“動力結構”。所以本文採“系統動力學”之翻譯名詞。

- [註二] 主要為將原模式的政策方程，由決策者取代，並簡化了基礎結構的滯延時間。
- [註三] 在 Sterman (1989a) 所用以估計決策原則之 S' 參數， $S' = S^* + bSL^*$ ，其中， S^* 為受測者之目標庫存量， SL^* 為滯延管道中欲具有的目標值， b 為另一估計參數。而所估計出的 S' ，其平均值為 17，而 Sterman 推測 S^* 約等於存貨之初始值 12，於是， SL^* 應等於 $(17-12)/b$ ，若以 b 之平均值 0.34 代入，則 SL^* 約等於 14.7。此外，由於 SL^* 約應等於「訂單的趨勢值」與「交期的趨勢值」之乘積，因此，即使以消費者需求 8 來代入「訂單的趨勢值」，那麼在如此樂觀的估計下，受測者考慮的時間滯延期數將為 1.84 ($=14/8$)，仍遠低於固定的 4 期滯延。值得注意的，由於其它三個角色的決策，皆由電腦以 Sterman 所估計的各參數之平均值代入，所以在 $S'=17$, $b=0.34$ 下，意謂著這三個電腦角色都未能知覺到恐慌的惡性循環，因為其連固定的 4 期滯延都未完全考量。所以，這三個電腦角色在行為上，可說都表現出落入恐慌的惡性循環中。
- [註四] 0~3 尺度，0 為未考慮時間滯延，1 為考慮固定前置時間，2 為知覺到交期是變動的，3 為知覺到交期是上游存貨的函數。
- [註五] 為避免極端值的影響，違反了變異數分析的假設，在經過幾種資料轉換的嘗試後，本研究以 1.3 為分界點，將訂貨決策預先反應程度轉換為 0 與 1 之資料結構。
- [註六] 另兩位受測者，一位是因欠貨成本較高，所以先多訂貨，另一位則考量到由訂貨到進貨會有時間滯延，故提前訂貨。
- [註七] 雖然本研究將上游存貨的資訊，設計為僅呈現正值或零，以預防受測者得到完全資訊，但受測者還是能獲取部份的資訊，尤其在前幾期。
- [註八] 前 2~3 局中，實驗組受測者或可能因實驗之操弄，而較控制組偏向於採用心智模擬策略，但在本實驗中並沒有直接指標測量之。不過前文之績效指標觀看類型（表 2）與決策績效的分析顯示，「心智模式系統邊界」為“體系”者，較諸“自身”者，顯著的較重視整個體系成本，且其前三局之成本亦顯著較低；而「動態行為歸因」為“閉環”者，較諸“開環”者，亦較重視整個體系成本。因此，有證據顯示，實驗操弄確具有效果，而其效果或可能是引發了心智模擬策略的初步採用。
- [註九] 譬如在糖廠案例中，僅一個方程式： $P=(2W-Pt-1) + \text{隨機值}(1,0,-1)$ ，其中 P 為產量，乃所欲控制的目標； W 為投入勞務，乃決策變項。受測者每期決定 W 的值（但限於 100, 200 ... 1100, 1200 等 12 個數值），以控制 P 接近並維持在給定的目標值。而其所指的案例知識，一般為決策變數與目標變數之間在極性（正相關、負相關與無關）與數量上的關係。這些案例特性與管理學習實驗室之動態複雜案例，有相當大的不同。
- [註十] 這並非指統計的預測方法無效，而是指在某一實驗案例中，受測者所發現的

某一個“特殊的”預測規則。此外，在本實驗中，受測者的“特殊預測規則”為：以下游存貨增減量為需求的前置指標。這個特殊規則在真實世界可能是有效，也可能是無效的，視產銷體系複雜度與資訊系統的完善度而定。假如此產銷體系，上下游的總體家數不多且彼此有密切交換產銷資訊，或者雖家數眾多，但體系間的EDI (Electronic Data Interchange) 系統能真正有效的運作，那麼這個特殊規則是有效的，等於縮短了體系間的資訊滯延，已改變了系統結構（參：王思峰與林文娟，1993）。最後，筆者的經驗是，在實驗案例中所發現的特殊規則，應有高比例是不能移轉到真實世界的。當然，這尚需驗證。

參考文獻

1. 王思峰，“管理學習實驗室之設計與效果—績效與學習不相關性之克服”，中山管理評論，1994。
2. 王思峰與林文娟，“系統思考調整滯延系列三：預測與生產間的辯證”，中衛簡訊，93期，1993年1月。
3. 金觀濤與華國凡，制論與科學方法論，臺北：谷風出版社，1988。
4. 黃一魯譯，門田安弘著，豐田式生產體系，臺北：中國生產力中心出版，1987。
5. 楊通誼，1991，“從系統動力學在麻省理工史隆管理學院發展的近況談起”，中山大學管理學院學術演講稿，高雄：中山大學管理學院系統思考與組織學習研究室。
6. 楊碩英與王思峰，企業經營決策學習實驗室之實驗研究，國科會專題研究計劃 NSC 81-0301-H-110-10，1992。
7. 謝長宏，系統動態學—理論、方法與應用，臺北：中興管理顧問公司，1987。
8. Bakken, B. E., Gould, J., and Kim, D., "Experimentation in Learning Organizations: A Management Flight Simulator Approach," European Journal of Operational Research, 59(1), 1992, pp.167-182.
9. Berry, D. C. and Broadbent, D. E., "Interactive Tasks and the Implicit-Explicit Distinction," British Journal of Psychology, 79, 1988, pp.251-272.
10. Berry, D. C. and Broadbent, D. E., "On the Relationship between Task Performance and Associated Verbalizable Knowledge," Quarterly Journal of Experimental Psychology, 36A, 1984, pp.209-231.
11. Berry, D. C. and Broadbent, D. E., "The Combination of Implicit and Explicit Learning Processes," Psychological Research, 49, 1987, pp.7-15.
12. Brehmer, B. and Doerner, D., "Experiments with Computer-Simulated Microworlds: Escaping both the Narrow Straits of the Laboratory and the Deep Blue Sea of the Field Study," Computers in Human Behavior, 9, 1993, pp.171-184.
13. Brehmer, B., "Strategies in Real Time Dynamic Decision Making." in R. M. Hogarth (Ed.) Insights in Decision Making, The University of Chicago Press, 1990, p.p. 262-279.

14. Brehmer, B., "Systems Design and the Psychology of Complex Systems," in J. Rasmussen and P. Zunde (Eds.) *Empirical Foundations of Information and Software Science III*, New York: Plenum Press, 1987.
15. Diehl, E., Effects of Feedbacks Structure on Dynamic Decision Game, Ph.D. dissertation, Sloan School of Management, 1992.
16. Doerner, D. "On the Difficulties People Have in Dealing with Complexity," *Simulation and Games*, 11, 1980, pp.76-106.
17. Einhorn, H. J. and Hogarth, R. M., "Confidence in Judgement: Persistence of the Illusion of Validity," *Psychological Review*, 56, 1978, pp.465-485.
18. Forrester, J. W., "Counterintuitive Behavior of Social Systems," in *Collect ed Papers of Jay W. Forrester*, Cambridge, Mass: MIT Press, now published by Productivity Press, Cambridge, MA, 1975, pp.211-244.
19. Forrester, J.W., *Industrial Dynamics*, Cambridge, MA: MIT Press, now published by Productivity Press, Cambridge, MA, 1961.
20. Funke, J., "Solving Complex Problems: Exploration and Control of Complex Systems," in R. Sternberg and P. Frensch (Eds.) *Complex Problem Solving: Principles and Mechanisms*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1991.
21. Graham, A. K., Morecroft, J. D. W., Senge, P. M. and Sterman, J. D., "Model-Supported Case Studies for Management Education," *European Journal of Operational Research*, 59(1), 1992, pp.151-166.
22. Hogarth, R. M., "Beyond Discrete Biases: Functional and Dysfunctional Aspects of Judgmental Heuristics," *Psychological Bulletin*, 90(2), 1981, pp.197-217.
23. Isaacs, W. and Senge, P. M., "Overcoming Limits to Learning in Computer-Based Learning Environment," *European Journal of Operational Research*, 59(1), 1992, pp.183-196.
24. Jarman, W. E., *Problems in Industrial Dynamics*, Cambridge, MA: MIT Press, 1963.
25. Kleinmuntz, D. N. and Thomas, J. B., "The Value of Action and Inference in Dynamic Decision Making," *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 39, 1987, pp.341-364.
26. Lyneis, J. M., *Corporate Planning and Policy Design: A System Dynamics Approach*, Cambridge, Mass: MIT Press, now published by Productivity Press, Cambridge, MA, 1980.
27. Paich, M. and Sterman, J. D., "Boom, Bust, and Failures to Learn in Experimental Market," Working Paper 3441-92-BPS, MIT Sloan School of Management, 1992.
28. Richardson, G. P., *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*, Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Press, 1991.
29. Richmond, B., "Systems Thinking: Critical Thinking Skills for the 1990 and Beyond," *System Dynamics Review*, 9(2), 1993, pp.113-134.
30. Rockart, J. F. and Short, J. E., "The Networked Organization and Management of Interdependence," in M. S. Morton(Ed.), *The Corporation of the 1990s*, Oxford: Oxford University Press, 1991.
31. Schoen, D. A., *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*, New York: Basic Book, 1983.

32. Senge, P. M. and Sterman, J. D., "Systems Thinking and Organizational Learning: Acting Locally and Thinking Globally in the Organization of the Future," European Journal of Operational Research, 59(1), 1992, pp.137-150.
33. Senge, P. M., The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization, New York: Doubleday, 1990.
34. Sengupta, K. and Abdel-Hamid, T. K., "Alternative Conceptions of Feedback in Dynamic Decision Environments: An Experimental Investigation," Management Science, 39(4), 1993, pp.411-428.
35. Simon, H. A. and Langley, P., "The Central Role of Learning in Cognition." in H. A. Simon(Ed.), Models of Thought, Volume II, New Haven: Yale University Press, 1989, p.p. 102-115.
36. Sterman, J. D., "Misperception of Feedback in Dynamic Decision Making," Organizational Behavior and Human Decision Process, 43, 1989b, p.p.301-335.
37. Sterman, J. D., "Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment," Management Science, 35(3), 1989a, pp.321-339.
38. Vennix, J. A. M., Mental Models and Computer Models: Design and Evaluation of a Computer-Based Learning Environment for Policy-Making, Ph.D. dissertation, the Nijmegen Institute for Cognition Research and Information Technology, University of Nijmegen, Netherlands, 1990.