

# 系統動態學在政策實務的應用

詹秋貴  
靜宜大學國企系  
cgjan@pu.edu.tw

## 摘要

政策制訂者所遭遇的問題越趨龐大、複雜及動態，政策執行結果也往往不如當初所預期，本研究首先列舉出一些常見政策制訂者對政策的預期與實際執行可能結果不一致的情形，並以台灣制訂武器系統發展政策的個案為例，利用系統動態學的方法建構動態模式，說明系統動態學的方法如何協助政策制訂者洞察問題及制訂政策；最後，作者以本研究之個案為例，深入討論政策制訂者對政策的預期與實際執行結果不一致的可能原因及系統動態學模式的具體貢獻。

**關鍵字：**武器系統發展政策、研究發展、系統方法、系統動態學

## 1. 前言

隨著社會的變遷及科技的進步，政策制訂所涉及的問題越加龐大、複雜及動態，因此政策的制訂越來越困難 (Forrester, 1994; Senge, 2000; and Sterman, 2002)；可悲的是，我們被迫面對這些困難；因為，社會的主要政策卻無止境的影響著我們的現在及未來 (Churchman, 1963 and 1979)，但學界目前提供的公共政策的制訂卻未能令人完全滿意；學者 Jenny and Russell 說：「每一件我們熟悉的

公共政策執行的結果均不如當初所想像，許多產業發展計劃也無法符合預期結果」(Jenny and Russell, 2001)；此外，實務經驗也經常發現我們雖然努力解決持續不斷發生的問題，但事實上卻是使問題變得更糟，甚至陷在製造更多問題的困境當中 (Sterman, 2000)。本研究列舉一些常見政策制訂者對政策的預期與實際執行結果不一致的對照表，如表1：

表 1. 政策制訂者對政策的預期與實際執行結果不一致的對照表

政策制訂者的預期	政策執行實際成果
● 政策制訂者預期可以立即產生績效	● 施政遲遲不見成果，使執行者失去信心。
● 立意良善	● 得到惡意的結果
● 有效解決特定問題	● 確實有效解決特定問題，但政策的副作用，衍生出更多問題。
● 部門最佳化的政策	● 與其他部門或系統整體利益相衝突
● 單純地由系統內部解決問題	● 政策執行推動力越大，造成的的阻力也越大，無法改善績效。

以新興工業國家制訂武器系統發展政策為例，國家政策與國際市場關係的相互依存與矛盾，以及國家的武器採購政策與建立武器系統獨立發

展能力相互抵觸等因素使得國防科技政策的制訂陷於兩難的窘境 (Jan, 2003, 2005)；此外武器研發的一些獨特的性質，例如研發能力成長的延遲、長期

與短期的效益不一致、部門間的利益衝突及環環相扣的因果關係等，都使得武器發展政策的制訂變得愈加動態及複雜 (Jan and Jan, 2000)。當政策制訂者面對這種龐大、複雜及動態的議題時，直覺及心智模擬能力已經無法應付 (Forrester, 1980)；因此，提供一種適當的方法來輔助政策制訂者處理實務上所遭遇的困難是一個重要的研究議題。系統動態學的建模者可以結合自己的專業及委託人的需要，建構一個動態模擬模式，藉以分析複雜的結構，尋找問題產生的根源，並模擬各種政策的長期發展趨勢，以增加政策制訂的品質，提高民意機構的參與意願及支持 (Richardson, 1996 and 1999；Stave, 2002)。

本研究以台灣制訂武器系統發展政策為個案研究對象，展示系統動態學的方法論如何協助台灣政府處理這種複雜、龐大及動態的問題，並制訂長期政策。以下的內容第二節介紹有關系統動態學的基本概念；第三節說明為什麼使用系統動態學來處理武器系統發展的議題；第四節提出一個實務性的個案研究，說明台灣如何利用系統動態學為方法論協助制訂武器發展政策；第五節以本研究提出之個案為例，深入討論政策制訂者對政策的預期與實際執行結果不一致的可能原因及系統動態學模式對政策制訂實務的具體貢獻；最後是本文的結論。

## 2. 關於系統動態學

系統動態學(System Dynamics；SD)係由美國麻省理工學院佛睿思特教授(Jay W. Forrester)於1956年提出(Forrester, 1961)，佛睿思特教授採用系統思考的哲學來定義問題，並利用因果回饋環路來詮釋變數間環環相扣的因果關係，接著再利用資訊回饋理論建構動態流程圖(Dynamic Flow Diagram)，描述系統內部資訊與實體流動的機底機制(Underlying Structure)，最後建構動態模擬模式，模擬系統的歷史行為，並進一步利用這個模式模擬各種政策的長期發展趨勢，進而找到徹底改善系統績效的政策(Forrester, 1961；Coyle, 1996；Sterman, 2000)；因此，系統動態學不但是一種工具、一種方法，更是一種概念 (謝長宏, 1980)。

系統動態學強調二個基本信念(Belief)：1)系統的行為主要是受到系統結構的影響，透過結構設計的改變可以改善系統行為，意即：「系統結構決定行為」；2)要實際瞭解一個系統，應該是從它內部實體與資訊的潛層流動(Underlying flows)，而不是系統中個別的功能。透過觀察環境實體與資訊的流動，管理者能進一步瞭解系統中各次系統間的互動情形，並以一種自然方式跨越視野障礙，建構一個有意義的整體系統(Roberts, 1978)。基於這種基本信念，系統動態學的方法具備下列五項特質：

- 1) 以系統方法整合複雜結構的問題和政策目標，以因果回饋環路分析變數之間環環相扣的因果關係，並透過因果關係的釐清來尋找問題產生的根源(Sterman, 2002；Jan, 2003)。
- 2) 以流體(Flow)流動的觀點協助觀察系統內部各部門的互動關係，整合部門與部門之間以及部門與整體之間的利益衝突(Roberts et al., 1978；Senge, 1992)。
- 3) 採用動態程式語言建構數學模式，其特殊函數的設計，包括表函數(Table Function)、滯延函數(Delay Function)、及其他邏輯函數等，適合處理涉及非線性的變數關係及具有緩慢、漸進和累積特性的實務問題(Roberts, 1978；Coyle, 1996；Jan and Jan, 2000)。
- 4) 系統動態學嚴格的邏輯操作與遞迴式地將動態模擬分析結果回饋修正模式及政策制訂者的觀念，此過程可以有效彌補人類直覺及心智模式模擬的不足，適合處理長期、動態、反直覺及重要政策介入點不易察覺的問題(Coyle, 1996；Sterman, 2002)。
- 5) 藉由“What...If...”的模擬功能，協助政策制訂者瞭解各種政策選項實施後，可能的長期發展趨勢(Roberts, 1978；Forrester, 1994)。

系統動態學擁有上述這些特質，正可以輔助政策制訂者探討問題的結構，並藉由動態模式的建構，模擬各種政策可能的長期發展趨勢及績效。下一節作者以武器系統發展的個案為例，進一步介紹使用系統動態學來協助制訂武器系統發展政策的理由。

### 3. 使用系統動態學制訂武器系統發展政策的理由

作者長期參與武器系統研發及科技管理實務，目前夥同十餘位研究同好參與推動研發政策；以下作者描述一些重要的武器系統研發特性，這些關鍵因素無法使用傳統的量化方法來作有效的處理，而系統動態學正可以用相對簡單的方式迎戰這些問題。

- 研發能力培養的延遲。
- 各階層官僚組織間的問題相互依存。
- 各部門利益與國家整體利益衝突。
- 短期利益的追求會傷害長期目標的達成。
- 變數間的非線性關係。

上述這些重要的議題作者進一步說明如下：

#### 3.1 研發能力培養的延遲

武器系統研發能力的成長培養是一種知識及經驗累積的過程(Blanchard, 1991)，從基礎研究到將關鍵技術開發再應用到武器系統發展上，整個過程具有明顯的延遲現象(Jan and Jan, 2000)，再者一個大型武器系統的研發專案從三軍需求確認開始，由研發單位執行概念設計、設計驗證、全型發展到生產部署(DoD, 1990; Shishko, 1995)；整個過程超過十年(Nicholas and Rossi, 1997)。

台灣於 1969 年成立中山科學研究院負責主要武器系統研發任務，初期的研究方向著重於將基礎科學應用於武器系統的奠基研究、關鍵技術開發、多管火箭、攻船飛彈與教練機等武器系統之研發，歷經十餘年的人才培育及技術能量的累積，始於 1980 年初陸續成立多項大型武器系統研發計畫，含雄風、天弓、天劍、光華及安翔計畫等，又歷經十餘年的努力，於民國 1990 年初先後完成上述各項計畫的研發任務，進入量產及部署服役階段。從上述歷程顯示，武器系統研發單位從成立到有能力完成先進的大型武器系統研發，保守估計需要 25 年的時間(CSIST, 1997)，而這整個過程必須要有穩定的政策支持。

#### 3.2 各階層官僚組織間的問題相互依存

武器系統發展結構可區分為三個層次的問題，即 1)國家的建軍願景，2)國防科技政策，及 3)軍備體系(Jan, 2003)，三個層次的問題互為因果環環相扣，無法單獨從任何一個層次著手(McEntire, 2002)。因為沒有明確的長期建軍構想，國防科技發展方向將缺乏引導，沒有穩定的國防科技發展政策，研發單位無法持續累積能量；沒有軍民資源共享、人才技術相互為用的軍備體系，全民國防的理想無法落實。

此外，各層級的各部門間，各自既獨立又相互依賴的運作關係，使得武器系統發展政策制訂的問題更加複雜；因此，武器系統發展政策制訂的實務及學術研究工作，必須以整體及長遠的觀點來思考問題，將各部門視為國家整體不可分割的次系統，否則不當的政策（例如：追求部門最大績效、眼前利益及不當的隔離或切割問題），將傷害國家整體利益及阻礙長期目標的達成(Ackoff and Pourdehnad, 2001)。

#### 3.3 各部門利益與國家整體利益衝突

官僚組織充份分工的結果，使得國家各部門醉心於追求個別的最大利益；然而，各部門的最大利益往往與國家整體利益相衝突(Ackoff, 1977)。冷戰時期美蘇的軍備競賽，使得蘇聯過分膨脹國防預算，最後整個國家因經濟崩潰而解體。

台灣 1949 年與中國大陸分裂以後，以美國為主要盟邦，並從美國輸入大量軍品，長期與中國大陸隔著台灣海峽處在敵對狀態，為了對抗中國大陸的武力威脅，近十年來台灣從國外採購超過 180 億美金的武器裝備，位居世界第一（第二至五名分別為：沙烏地阿拉伯、中國、土耳其、南韓）。(SIPRI Yearbook, 2002；Jan, 2005)。

台灣這種大量外購的政策雖然可以快速建立軍備，但龐大的國防投資產生預算的排擠效應，國內基礎建設投資不足，阻礙整體工業水準提昇，2001 年起產生經濟成長衰退，失業率升高；更可怕的是大量的外購裝備表面上可免除研發及生產的投資，對獲得成本及建軍時程有利；但事實上，就

二、三十年武器系統的生命週期來看，獲得成本僅僅是冰山的一角而已，部隊操作維修的時效及成本(即所謂妥善率, so-called availability)才是更應關注的重點(Harold, 1995; Blanchard, 1990)，且武器的性能需配合科技的演進不斷更新(up-grade)，外購裝備雖然部份性能優異，但性能無法隨著科技的進步隨時更新，從裝備獲得的那天開始，相對於敵軍的戰力提升，性能便逐年下降(Jan, 2003 and 2005)。

### 3.4 短期利益的追求會傷害長期目標的達成

1990 年代初期東歐及蘇聯等共產集團相繼瓦解，結束了共產及民主兩大集團的對壘情勢，此時世界經濟發展又陷入蕭條，世界各國因而紛紛裁減國防預算，使得國際軍火市場交易冷淡，各軍火輸出大國紛紛出售高性能武器以換取外匯，這種趨勢提供部份新興工業國家及開發中國家採取向國外市場採購武器裝備來快速建立戰力的機會。

三軍作戰單位傾向於向國外軍火市場採購現貨的主要誘因有：1)降低武器的獲得成本(包括研發及生產成本)；2)縮短武器獲得時間，快速建立作戰能力，滿足當政者追求任內的短期績效；3)可以跟軍品輸出國建立戰略聯盟的夥伴關係。然而，這種追求短期利益的政策，長期卻衍生出許多副作用：

- 依賴國外採購武器裝備，國防政策無法自主；一但外購管道再度受阻，國人又沒有能力研發下一代武器，國家安全立即受到威脅。
- 龐大的軍品外購預算產生預算排擠效應，國內基礎建設投資不足影響經濟發展。
- 更重要的是就武器系統二三十年的生命週期來說，武器的獲得成本僅是冰山的一角；實務經驗顯示，在整個生命週期中，武器裝備的維護必須仰賴軍品輸出國家提供維修料件，這種情況不僅將使武器裝備的妥善率降低，老舊裝備的維護更使得國軍不堪負荷。(Blanchard, 1991；Jan, 2003)

### 3.5 變數間的非線性關係

複雜的系統中，變數與變數間的非線性關係，使得傳統的量化工作的過程變得更加複雜與困

難，系統動態學採用表函數的設計，描述變數間非線性的對應關係，大幅簡化量化的困難度；以武器系統 R&D 工作為例，因為研發能力<sup>[註一]</sup>成長延遲的特性，使得研發能力的成長與核心人力的增加並不呈現單純的線性關係，依據長期對中科院實務的觀察及匯集資深科技人員的意見與經驗，核心人力與研發能力的非線性如圖 1 所示，這種非線性關係類似成長形曲線<sup>[註二]</sup>。(Li and Rajagopalan, 1998; Childs and Triantis, 1999; Zangwill and Kantor, 1998)

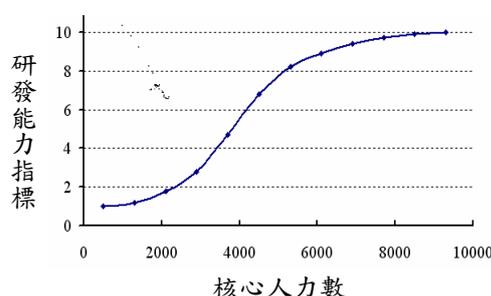


圖 1 核心人力與研發能力的非線性關係

上述這些政策制訂問題的特性，主要包括龐大、複雜、動態、延遲及變數間的非線性關係，傳統的量化方法無法有效處理這些問題 (Ackoff, 1979; 2001)。系統動態學採用下列方法巧妙的面對上述這些實務問題：

- 1) 以系統方法定義問題。
- 2) 利用因果回饋環路及動態流程圖分析複雜系統的機抵機制(underlying structure)。
- 3) 設計延遲函數 (Delay Function) 處理延遲的問題。
- 4) 設計表函數(Table Function)處理非線性關係的問題。

註一：本研究為了進行量化模擬的需要，在此我們將研發能力定義為：「發展武器系統必須具備之關鍵技術的知識與經驗之累積，是一種客觀存在能力，而且可以逐項地計數與累計」。

註二：核心人力與研發能力非線性關係的詳細敘述，讀者可參考作者發表在 Journal of the Operational Research Society, 51:1041-1050 的期刊論文。

5)採用微分方程式計算方式，將時間的變數納入模式中，成功地發展出動態模擬模式。

因此，系統動態學可以利用相對簡單的分法有效處理這些動態性複雜的世界(Forrester, 1994; Richman, 2000; Senge, 2000)；以下的章節，作者以台灣制訂武器系統發展政策為例，展示系統動態學如何協助政策制訂者、建模者及監督者洞察問題並制訂可靠的政策。

#### 4. 個案研究：以台灣制訂武器系統發展政策為例

根據上述對武器系統研發特性的分析，抽取關鍵性的變數來建構系統動態學的模式，藉以說明台灣武器系統發展在國際軍品市場競爭及國家武器獲得政策改變的交互影響下，研發能力成長與衰退的系統行為說明如下：

##### 4.1 研發能力的成長

早期因為台灣的研發能力不足，國際軍品市場上無談判籌碼，軍品外購困難且價格昂貴，迫使台灣採取自力研發的政策，中科院在數十年穩定發展的情況下，緩慢地建立研發能力，隨著研發能力的提昇同時也增加國防部決策單位及使用部隊的投資信心，而加速武器系統研發的投資，加速投資的結果使得研發能力更快速提昇，圖 2 顯示研發能力成長的因果回饋環路。

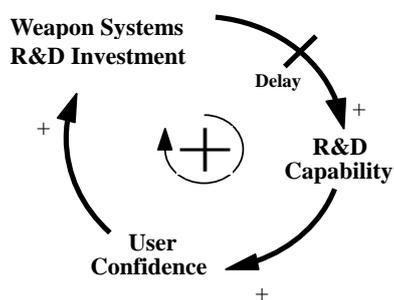


圖 2 研發能力成長的因果回饋環路

武器系統研發初期經長期累積科技基礎，在穩定的政策支持下早期研發能力持續緩慢成長，而當中科院累積充分經驗與技術時，專案研發的時程及成本均可大幅的降低，研發能力的成長速度也不斷增加。圖 2 的因果回饋環路是一種正性或成長的回饋，研發能力成長的現象可類比為滾雪球效應。

##### 4.2 研發能力成長的延遲

武器系統的研發技術較一般民間工業技術在應用科學上複雜度較高，人才的培育需仰賴長時間的在職訓練，依照實際執行武器系統研發的經驗，研發工作人員中約有 40%的科學及工程人力，一般來說新進的科學或工程人員在職訓練時間約需 4-5 年，方能勝任專業科技工作，專業科技人員約需再訓練 4-5 年，方能勝任系統工程工作，而且並非每一位專業科技人員均可勝任系統工程工作；對武器系統研發單位而言，這些系統工程人員均是武器系統研發的核心人力，核心人力決定了研發能力。研發能力的提昇關鍵在於科技人才的培育，而核心科技人力之培育長達 8-10 年，這是明顯的遲滯現象，因此研發能力成長的速度非常緩慢。

##### 4.3 研發能力的衰退

隨著研發能力的提昇台灣在國際軍品市場上增加了談判籌碼，外購成本因而降低，加上自力研發成本高、時程長及長期以來使用部隊對外購武器裝備性能較有信心等因素，主要武器系統獲得政策在國際軍品市場競爭的情況下由自力研發轉向外購獲得，表 2 的例證可以說明：「武器系統研發實力是武器裝備外購獲得的基礎」；因此當台灣具有武器系統研發能力時，在國際軍品市場上即可擁有較有利的談判籌碼，包括裝備的選擇權、議價權、性能要求及其他主控權等。在這種主客觀情勢的驅使下，台灣的武器系統獲得政策立刻由自力研發轉向國外採購。

表 2 台灣高性能武器系統裝備研發成功後突破外購限制之例證

武器類別	自力研發成功武器	外購獲得之該類武器
高性能戰機	IDF 經國號戰機	•法幻象 2000-5 戰機 •美 F-16A/B MLU 戰機
短程空對空飛彈	天劍一型飛彈	•法魔術二型飛彈 •美 AIM-9L 響尾蛇飛彈
中程空對空飛彈	天劍二型飛彈	•法 MIC 雲母飛彈 •美麻雀飛彈
地對空飛彈	天弓飛彈	美愛國者飛彈
反艦飛彈	雄風飛彈	魚叉飛彈
戰車	勇虎號戰車(M48A5)	M-60 戰車
飛彈巡防艦	成功級巡防艦	•法拉法葉巡防艦 •美派里級巡防艦

資料來源：國防管理學院熊培霖教授 (1997)

在國家武器系統獲得預算無法大幅成長的情況下，外購武器裝備預算增加，使得研發單位獲得之研發預算逐年減少，研發單位獲得之預算無法維持現有人力及設備，被迫進行縮編及人力裁減，而大量人力裁減的結果使得數十年辛勤建立的研發能力快速衰退，圖 3 顯示研發能力成長與衰退的因果回饋環路。

從上述討論得知研發能力先緩慢的成長再快速的衰退，這種型態的演進是一個明顯的事實，但其演進的時間長，從開始著手自力研發到研發能力成熟，再到研發能力衰敗，整個過程超過 30 年。

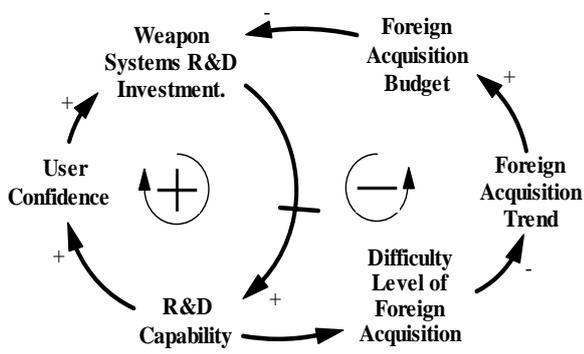


圖 3 研發能力成長與衰退的因果回饋環路

假如台灣任由武器系統研發機構暴露在武器

裝備競爭市場運作的基本模型，模擬結果與實務比較說明如下：

### 1) 研發人力的模擬

中科院成立於 1969 年，初期以建立基礎研發能力及人才培育為主，1979 年中美斷交，1982 年中共與美國簽署「八一七」公報，台灣武器系統進口管道受到中國阻撓。此時中科院已具備大型武器系統研發能力，遂在「國防自力自主」的政策指導下，先後成立安翔、雄風二型、天弓、天劍、光華等大型專案研發計畫，所獲得之研發預算逐年增加，最高佔武器發展總預算之 50% 左右。為了配合緊急提昇戰力時程的需要，必須對外大量召募研發人員，研發總人力數不斷累積，民國 1989 年所累積之總人力數達到高峰，超過兩萬人。

1990 年以後，各大型專案研發計畫相繼完成，中科院獲得之研發預算減少，1992 年以後因武器裝備外購管道開放，台灣武器系統獲得政策急速轉變為以外購為主，中科院獲得之研發預算逐年銳減，按國防報告書揭示的比例，中科院獲得之研製預算不及武器獲得預算（含內購及外購）之 20%。

適逢國軍強力推動精實計畫，且中科院獲得之預算已無法維持現有人員，在政策的導引及現實的困境雙重壓力下，中科院被迫大量精簡人力，目前全院總員工數約僅 8,500 人；模式模擬結果顯示研

發人力的消長趨勢與實務上中科院的人力消長狀況相似如圖 4 (圖 4 中的點線表示中科院最近二十年的實際人力數)。

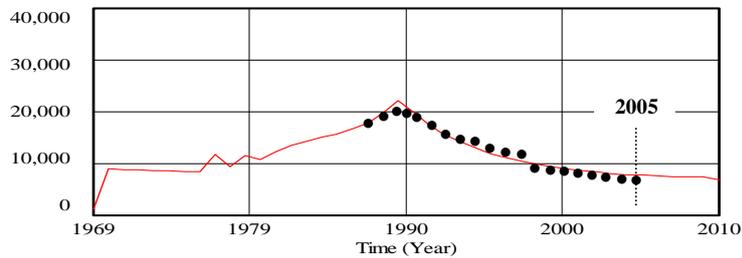


圖 4 研發人力數模擬

### 2) 研發能力的發展趨勢模擬

中科院成立於 1969 年，初期的研究方向著重於將基礎科學應用於武器系統的奠基研究、關鍵技術開發、多管火箭、攻船飛彈及教練機等武器系統之研發，在穩定政策的支持條件下，歷經十餘年的人才培育及研發能力的累積，始於民國 1980 年初起開始從事較大型計劃的研發任務，再

經過十餘年的努力及緩慢而穩定成長，1992 年起陸續完成上述計劃，隨著上述計劃的陸續完成及台灣武器系統獲得政策受國際軍品市場影響，由自力研發為主的政策轉為以外購為主的政策，中科院獲得預算不足，使得研發人力大量流失且員工工作意願低落，研發能力因而逐年衰退；過去 36 年及未來 5 年的研發能力趨勢模擬如圖五。

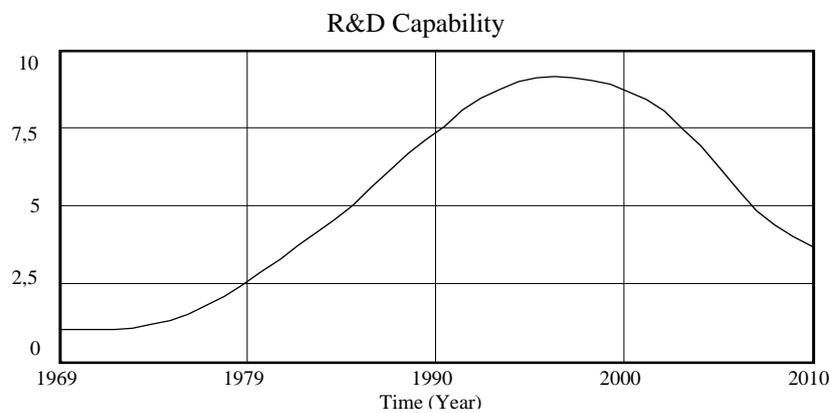


圖 5 研發能力的發展趨勢模擬

### 3) 政策分析

研究單位的研發能力建立非常困難且緩慢，而且要在長期穩定的政策支持條件下才能逐漸累積研發能力，但科技人才流失造成研發能力衰退卻非常容易且快速。本研究發現，研發能力的培養需要在長期而穩定的政策支持下才能非常緩慢增加，但當良好的條件不存在時，如政策改變或環境衝擊過大而超過組織的調適能力時，則長期累積的

研發能力會因為人才的大量流失而快速衰退。

1969 年至 1991 年間，中科院在穩定政策支持下，研發預算佔國軍武器獲得預算比例從 0 逐漸增加到 0.5，研發能力也不斷成長，1991 年以後假如中科院獲得之預算比例若能維持在 0.5 左右，則研發能力仍可持續成長。然而台灣研發能力的成熟打開了外購管道，在武器裝備市場的競爭壓力及國軍急欲籌建二代兵力的情況下，台灣主要武器系統自

力研發預算比例從 0.5 下降至 0.2 以下，造成中科院研發人才大量流失員工，導致士氣低落。因此，今後台灣如果要維持適當的研發能力則必須付出更多的預算、時間及努力。

圖 6 顯示台灣三種可能的武獲政策相對造成研發能力發展的模擬結果，曲線 1 表示中科院獲得國軍主要武器系統發展總預算的比例為 0.2 以下（即近十五年來國軍所編列的比例），我們可稱之為“外購導向的武獲政策”，它的結果導致台灣武器系

統研發能力快速衰退。曲線 2 表示自力研發的比例從今年起修正為 0.5，我們可稱之為“外購與自力研發均衡的武獲政策”，這種政策使研發能力在一段時間衰退後可恢復目前已達成的水準。曲線 3 顯示自力研發的比例從今年起修正為 0.7，我們可稱之為“自力研發導向的武獲政策”，這種政策可以使台灣武器研發能力在一段較短的時間衰退後持續成長。

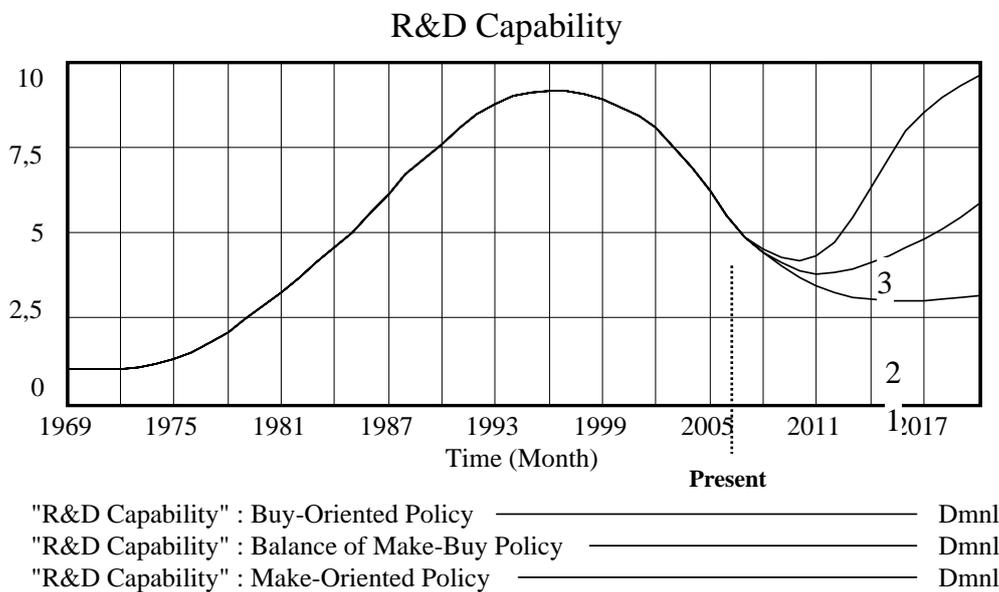


圖 6 三種可能的研發能力發展趨勢分析

## 5. 討論

### 5.1 問題回顧

透過本研究對系統動態學建模過程的描述及台灣制訂武器系統發展政策的個案研究，讓我們回顧表一所列舉的政策實務問題，作者試著把政策制訂者對政策的預期與實際執行結果不一致的可能原因整理如下：

#### 1) 政策實務發現一：

政策制訂者預期可以立即產生績效，但實際上施政的結果卻遲遲不見成果，使執行者失去信心。

#### 透過系統動態學建模發現的問題形成原因：

武器系統研發能力的建立，必須依賴核心人

力的培養及經驗的累積，研發的投資不可能有立竿見影的成效，缺乏耐心及遠見的施政者，往往因此失去信心；研究顯示，台灣從 1969 年成立中科院開始進行武器系統的研發，經過 16 年的人才培育及經驗的累積，直到 1985 年才有能力進行大型的武器系統研發工作，又經過十年的努力，先後完成三彈一機的主要武器系統研發；保守的估計開發中國家從成立研發單位到研發能力成熟，約需 25 年的時間，此期間武器研發單位必須獲得政策的穩定支援。

**2)政策實務發現二：**

缺乏系統觀的政策經常產生立意良善但卻得到惡意的結果

**透過系統動態學建模發現的問題形成原因：**

許多政策的執行初期立意良善，政策執行後在短期內確實獲得可觀的成果，但長期來說，最後卻可能獲得惡意的結果；本研究發現，當台灣研發能力成熟之後，在國際軍火市場上具有較強的談判籌碼，使她們有能利用較便宜的經費買到比以往性能優異的武器，這種客觀條件的成熟使得台灣希望加速追趕與中國軍力平衡的企圖得以透過向國際軍火市場採購現貨來實現。台灣的武器獲得政策便快速由自力研發導向轉向國外購買導向，大量的國外軍品採購政策，使得台灣成為世界最大軍火輸入大國。

大量軍品採購確實能使台灣快速提昇國軍戰力，暫時達到維持國家安全的目的；然而，國外採購導向的政策，產生預算排擠效應，國內研發經費不足，迫使武器研發單位大量裁員，武器系統研發能力便迅速崩解，最後在國際市場上再度喪失談判籌碼；況且武器的性能需配合科技的演進不斷更新，外購裝備雖然部份性能優異，但性能無法隨著科技的進步隨時更新，從裝備獲得的當時開始，相對於敵軍的戰力提升，性能便逐年下降，台灣企圖透過外購軍火快速追趕與中國軍力平衡終究難以實現；目前自力研發武器時效無法滿足與中國軍事抗衡的迫切性，必須再度大量採購國外軍品，使得台灣的武器獲得政策陷在追求短期利益的泥沼中，而無法自拔。

**3)政策實務發現三：**

許多政策執行是為了有效解決特定問題，但政策的副作用卻可能衍生出更多問題。

**透過系統動態學建模發現的問題形成原因：**

誠如前述，台灣為了快速建立戰力、降低武器獲得成本等因素，1992年之後武器獲得政策由自力研發轉向國外採購，大量軍購的結果固然可以降低武器獲得成本及快速建立戰力，維持台灣海峽的武力平衡；然而，這些追求短期利益的政策，卻在數十年甚至數年後衍生出更多的問題；例

如，第一：仰賴國外採購軍備造成國防政策不能自主，第二：大量的軍品採購及裝備維持費產生預算排擠效應，國內投資不足使得經濟蕭條，第三：過去已建立的武器系統研發能力衰退等。

**4)政策實務發現四：**

專業分工的結果可以提昇各部門的效率，但追求部門最佳化的政策可能造成該部門與其他部門或系統整體利益的衝突。

**透過系統動態學建模發現的問題形成原因：**

台灣國防部為了追求國防強大，一味追求戰力提昇及降低裝備獲得成本等短期利益，然而龐大的軍品採購產生預算排擠效應，使得經濟及教育部門預算不足。國內經濟建設投資不足，造成台灣近年來經濟發展遲緩，2001甚至造成台灣經濟發展數十年來首度的負成長；教育經費不足也使得台灣的教育預算比例名列亞洲四小龍之末，小學生平均獲的教育經費尚不足韓國的十分之一（陳雅玲，2006）；經濟發展遲緩及教育投資不足，均將造成國家長遠發展的阻礙。

**5)政策實務發現五：**

政策制訂者經常單純地認為問題的產生來自於系統內部，往往政策執行推動力越大，造成的的阻力也越大，無法有效改善績效。

**透過系統動態學建模發現的問題形成原因：**

研究發現1992年之後，台灣的武器獲得政策急速由自力研發轉向國外採購，自製武器系統的預算不及軍品採購總預算之18%（中科院，2000）。負責國家主要武器系統研發任務之中科院在毫無預警之情況下，所獲得之研發及產製的預算逐年銳減，現有人力及設備無法維持，被迫精簡組織及人力，使得中科院之研發總人力在十餘年間從21,000人快速減少至目前之約8,500人。研發人力快速精簡的結果，研發人員工作士氣低落，使得許多高科技人才自動離職或提早退休；這個研發重鎮在三彈一機等主要武器系統研製完成後，已無顯著的研究成果（中科院，1997），過去台灣投入龐大的研發預算，經過數十年的努力建立的研發能力因而嚴重衰退。

研究績效不彰的事實，使得主管單位國防部

認為是內部管理不當所致，並制訂各種嚴格的規定，要求中科院的科技人員遵守部隊的一致規定，甚至造成多次員工走上街頭抗爭的情形；此外國防部更一再要求中科院加速精簡人力，令人詫異的是精簡人力的計劃在軍事單位變成了反淘汰（詹秋貴，1999）。從熱力學的觀點來看，組織歷經數十年的運作及發展，內部的亂度(Entropy)會因為組織、制度、法規、觀念及文化逐漸的僵化而不斷提高，而封閉系統的亂度一經產生便無法再降低(熱力學第二定律)，任由新的措施不斷提出、經營者不斷更替，政策執行推動力越大，造成的的阻力也越大，績效卻無法明顯改善；殊不知亂度的降低必須將封閉系統轉變成開放系統（Rifkin，1980），而績效不彰問題的根源也來自於研發系統之外的國家政策不當。

## 5.2 系統動態學的研究貢獻

透過台灣武器系統發展模式建構及政策分析的過程，可以逐步引導參與者（包括政策制訂者、建模者及監督者）的視野及對實務問題的洞察，研究發現系統動態學的模式及引導建模過程具有下列具體貢獻：

- 1) 系統動態學採用系統方法從整體及長期的觀點思考及定義問題，整合跨功能及跨學域的知識，直接面對政策制訂的實務問題，不論在實務或學術理論上均被認為是較貼近事實的方法論。
- 2) 系統動態學利用因果回饋的圖形描述系統與環境的互動及系統內部各變數間環環相扣的因果關係，政策制訂者及建模者能透過對因果關係的分析及系統與環境的互動關係從新定義問題並調整概念（reconceptualising），這種建模的過程發揮了充分討論的優點，可以引導思考並擴大討論空間，有助於深入探究問題產生的根源。
- 3) 過去軍方經常利用所謂“國防機密”的藉口來規避民意對國防施政的監督；本研究發現系統動態學能有效地將政策制訂者及建模者的概念轉換成概念模型，而不會造成國防機密外洩；這種概念模型可以增加監督單位增加參與公共政策制訂的深度及廣度，有助於民主機制的運作順利，提

高政策制訂的品質。

- 4) 系統動態學的概念模型能將施政者思考的“黑箱”（“black box”）過程，轉化成明白的施政理念（bright ideas），透明化的政策決定過程，能提高社會大眾對政策形成的信心及支持，能有效消除軍中過去黑箱作業的情形。
- 5) 系統動態學的量化模擬功能，能夠使政策制訂者、建模者及監督者深入而有效的討論各種政策選項可能的長短期發展趨勢及績效；特別使監督者清楚了解政策形成過程及問題解決方式，避免政策制訂者與監督者無效的爭執及衝突。

## 6. 結論

系統動態學使用系統方法來定義問題，並藉由因果回饋環路分析各變數間環環相扣的因果關係，這種建模過程有助於政策制訂者、監督者及社會大眾了解問題的結構、凝聚問題焦點、引導思考及擴大討論空間，最後建構動態模擬模式，藉由“*What...If...*”的政策模擬，分析各種政策可能的長短期發展趨勢及績效；這種政策制訂的過程有助於政策制訂的參與者透過討論不斷修正對問題的理解及概念（reconceptualising），有效提高政策制訂的品質，並可增加監督者及社會大眾的支持。

本研究整理出一些常見政策制訂者對政策的預期與實際執行可能結果不一致的問題，藉由對系統動態學的基本信念及特性的說明及台灣執行武器系統發展政策的個案研究，展示系統動態學如何可以輔助政策制訂者探討問題形成的基底機制（Underlying Structure），並藉由動態模式的建構，模擬各種政策可能的長期發展趨勢及績效；最後，作者針對在前言中所列舉的政策實務問題，試著把政策制訂者對政策的預期與實際執行結果不一致的可能原因，透過台灣制訂武器系統發展政策的個案進行深入探討。研究結果顯示，系統動態學方法可能是政策學領域參與者的另一種正確選擇。

## 參考文獻

- [1] 中山科學研究院新新專案研究室，2000，"中科院組織再造之研究 --- 投入軍備體系邁向國防自主"，中科院新新專案室組織再造研究報告。
- [2] 陳雅玲，2006，80 對 800 的戰爭，商業周刊 954 期。
- [3] 熊培霖，1997，「武器採購與國防工業自主：由二代戰機之成軍談下一代戰機之研發及漢翔公司的未來」，經濟部航太工業通訊 26 期，pp.46-54。
- [4] 謝長宏，1980，系統動態學——理論、方法與應用，中興管理顧問公司。
- [5] R.L. Ackoff, "The future of operational research is past". *Journal of the Operational Research Society* **30**: 93-104, 1979.
- [6] R.L. Ackoff, "OR: after the post mortem", *System Dynamics Review* **17(4)**: 341-346, 2001.
- [7] R.L. Ackoff and J. Pourdehnad, "On Misdirected Systems", *Systems Research and Behavioral Science*. **18**: 199-205, 2001.
- [8] R.L. Ackoff, "Optimization + Object = Opt out", *European Journal of Operational Research* **1**: 1-7, 1977.
- [9] R.L. Ackoff, "Presidents' Symposium: OR, a post mortem". *Operations Research* **35(May-June)**: 471-474, 1987.
- [10] R.L. Ackoff, "Resurrecting the future of operational research". *Journal of the Operational Research Society* **30**: 189-199, 1979.
- [11] Alvarez, de J.M. Lorenzana and L.M.Ward, "On Evolutionary Systems". *Behavioral Science*, **32**:19-33, 1987.
- [12] K.A. Atave, Using System Dynamics to Improve Public Participation in Environmental Decisions, *System Dynamics Review*, 18(2): 139-167, 2002.
- [13] P.L. Bakry, Weapon Procurement and Defense Industry Development in Taiwan's Defense Self-reliance Policy, *Aerospace Ind Qua*, **26**: 46-54, 1997. (In Chinese)
- [14] B.S. Blanchard and J.F. Wolter, *Systems Engineering and Analysis*, Prentice-Hall International, Inc., 1990.
- [15] B.S. Blanchard, *System Engineering Management*, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [16] P.D. Childs and A.J. Triantis, Dynamic R&D Investment Policies, *Management Science* **45**: 1359-1377, 1999.
- [17] C.W. Churchman, 'The X of X', *Management Science*, 9(3): 351-357, 1963.
- [18] C.W. Churchman, *The Systems Approach*, New York: Dell Publishing, 1979.
- [19] R.G. Coyle, *System dynamics modeling: a practical approach*. Chapman & Hall, New York, 1996.
- [20] CSIST, *Fly high over 30 year: Special Issue of Chung-Shan Institute of Science and Technology*, Department of Defense, Taiwan, 1997. (in Chinese)
- [21] Department of Defense, National Defense, Li-ming Cultural Enterprise Co. Ltd. Taiwan, 1998.
- [22] DoD, *Systems Engineering Management Guide*, D.C. Washington, Defense Systems Management College, 1990.
- [23] J.W. Forrester, *Industrial dynamics*. MIT Press; Cambridge, MA: reprinted by Productivity Press (1994) and now available from Pegasus Communications, Waltham, MA, USA., 1961.
- [24] Forrester, J.W., *System dynamics — future opportunities*. TIMS Studies in the Management Science 14: 7-21, 1980.
- [25] Harold, K., *Project Management: A systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Van Nostrand Reinhold, 1995.
- [26] James, R.L., And David, S., *China's military faces the future*. M.E. Sharpe, Inc., USA., 1999.
- [27] C.G. Jan, "Policies for developing defense technology in newly industrialised countries: a

- case study of Taiwan”, *Technology in Society*, **25**: 351-368, 2003.
- [28]C.G. Jan, ‘Defense technology in society: lessons from large arms importers’, *Technology in Society*, 270: 181-197, 2005.
- [29]Jan, T.S. and C.G. Jan, ‘Development of weapon Systems in developing countries: a case study of long range strategies in Taiwan’. *Journal of the Operational Research Society*, 51:1041-1050, 2000.
- [30]Jan, T.S. and C.G. Jan, Designing Simulation Software to Facilitate Learning of Quantities System Dynamics Skill: A Case Study in Taiwan. *Journal of the Operational Research Society*, 51: 1409-1419, 2000.
- [31]S. Jenny and A. Russell, ‘Systems Theory and Policy Practice: An Exploration’ *Policy Sciences*, 34: 79-94, 2001.
- [32]D.C. Lane, Should system dynamics be described as a ‘hard’ or ‘deterministic’ systems approach? *Systems Research and Behavior Science* **17(1)**: 3-22, 2000.
- [33]G. Li, and S. Rajagopalan, Process Improvement, Quality, and Learning Effects, *Management Science* **44**: 1517-1532, 1998.
- [34]D.A. McEntire et al., “A comparison of disaster paradigms: the search for a holistic policy guide”. *Public Administration Review* **62(3)**: 267-281, 2002.
- [35]Morecroft, T.D.W., Executive knowledge, models and learning. *European journal of operational research* **59**: 9-27, 1992.
- [36]National Research Council, STAR 21: strategic technologies for the Army of the twenty-first century. Board on Army Science and Technology, Commission on Engineering and Technical Systems. Washington, DC: National Academy Press, 1992.
- [37]T. Nicholas, and Rossi, R., US Missile Data Book 1998, 22 Edition, Data Search Associates Review, 12: 141-157, 1997.
- [38]G.P. Richardson, Reflections for the future of system dynamics. *Journal of the operational research society*, 50:440-449, 1999.
- [39]J. Rifkin, "Entropy : A New World View", Bantam Books, Inc., New York, 1980.
- [40]E.B. Roberts, Managerial applications of system dynamics, Productivity Press, Cambridge, 1978.
- [41]P.M. Senge, *The fifth discipline*, New York: Currency Doubleday, (2000).
- [42]R. Shishko et al., *NASA Systems Engineering Handbook*, D.C. Washington: National Aeronautics and Space Administration, 1995.
- [43]H.J. Steenhuis and E. Bruijn, “Developing countries and the aircraft industry: match or mismatch?” *Technology in Society*, **23**: 551-562, 2001.
- [44]J.D. Sterman, Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. McGraw-Hill, New York, 2000.
- [45]J.D. Sterman, All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*, **18**: 501-531, 2002.
- [46]Stockholm International Peace Research Institute, SIPRI Yearbook 2002: Armaments, Disarmament and International Security. Cambridge: Oxford University Press, 2002.
- [47]H.A. Taha, Operation Research, 7ed, pp.1, Prentice Hall, 2003.
- [48]W.I. Zangwill and P.B. Kantor, Toward a theory of continuous improvement and the learning curve, *Management Science* **44**: 910-920, 1998.