

第二章 文獻回顧與評析

為使都市永續運輸評量方法之架構及系統更臻完備，本章以地區性交通計劃與永續運輸之理論基礎，探討系統變數與評量指標的選擇。最終回顧本研究應用之感受性系統模型及模糊認知圖等研究方法，以釐清研究方法之特性、限制與操作流程。

2.1 地區性交通計劃

都市交通計劃中，計劃對象可分為幹道交通計劃與地區性交通計劃，所謂地區性交通計劃是由地區性交通建設計劃與地區性交通管理計劃構成，制定地區性交通計劃時，應以民眾參與共同討論課題所在及計劃目標，研擬與現實一致之方案。

地區性交通計劃可分為回應目前短期發生問題之「問題因應型」及解決長期問題之「建設推動型」。目標亦可區分為增進交通安全、改善交通環境及提昇交通防災。地區性交通計劃所處理之對象一般分為四種（葉光毅、吳永隆，1998）：

- 一、處理某一地區內之道路交通問題，或處理通過性交通等情形。
- 二、處理地區外圍幹道及接續道路建設計劃。
- 三、處理某地區內公共交通系統及設施配置計劃。
- 四、以交通與環境政策為前提，進行交通管理計劃。

地區性交通計劃所使用之調查方法包括：預測方法、地區診斷方法、環境評估方法、地區性交通改善方法、改善效果預測方法、計劃方案評估方法及計劃實施方法等，均有技術性之策略運用相互影響。

地區性交通計劃之內容為，在不同地區背景與管制條件下，依據地區性交通環境改善目標，檢討安全性、防災性、舒適性、便利性、衛生及美觀等評估項目以提出設施應用及環境改善之方案（吳永隆，1996）。從大方向而言，公私部門在進行計劃時，需決定推動計劃之地區，以符合都市計劃中未來發展方向。換言之，構成都市結構及機能基礎之道路及交通建設計劃必須充分落實，然因計劃涉及周邊交通環境、防災及景觀間相依關係，故需具備遠程觀點之展望（土木學會，1992）。

在不同等級道路設施中，分別有必要且與各等級道路相對應之管理方式，管理方式更需配合地區之條件、土地使用等，因此交通空間之分離計劃，包括交通網路、交通動線、流量及行車速率的對策、人車共存及停車管理等，需同時於不同分離交通空間中考量與檢討（許添本、李明聰，2003）。

目前，國外地區性交通計劃多以交通穩靜化（Traffic-Calming）為目標。主要是以改善行人優先、交通管理、道路安全、組合「環境整建」與「抑制速度之道路安全計劃」及生活環境各方面為目的（Klaus，1997）。由於靜態及動態機動車輛使用空間不斷增加，擠壓了其他活動的空間，使人們感到人身安全的威脅，且此一威脅散佈於地區各個角落。且汽車工業的進步，使得汽車行駛對於行人、兒童、老人、殘障者，甚而機慢車使用者。因此，促進用路人多以替代運具來吸收過多之汽車旅次，並適度抑制汽車交通，才得以恢復都市空間之多目標使用（Elvik，2001）。然而，交通穩靜性之具體方法，通常以道路線型、鋪面、法令及交通控制等交通工程面之改善與限制進行（Rose 等，2001），一般用路人無法直接表達對該策略執行方式之喜惡。因此，本研究僅恪遵交通穩靜性之精神與目標進行規劃，而非採用交通穩靜化為地區性交通計劃之設計手段。

2.1.1 地區交通計劃中特定對象之研究

隨著高齡人口的成長，高齡駕駛人的比例隨之增加，居住地點亦由市區中心遷至市郊。然而，大部分的公路設計要項與運輸服務營運方式，並未將高齡者生心理機能特性納入考量，導致高齡者有交通安全方面顧慮（Benekophal 等，1994）。該研究指出，高齡者駕駛可能因生理機能退化之故，多數高齡駕駛者認為駕駛行為變得困難。而交通事故資料亦顯示，高齡駕駛者之交通事故發生率，明顯高於年輕人，這可能是高齡者對於資訊的接收與處理能力降低（許銓倫，2000）。因此，為了提昇高齡者行車安全，並改善交通狀況，必須將高齡者生心理機能特性納入道路設計及交通設施考量內（陳昌益，2001）。若欲改善運輸系統環境，以降低高齡者使用上的不便，建議由提供高齡者良善的步行環境、改善私人運具及改善公共運輸三方面著手（Wolfe and Miller，1983）。

為減少行人與車輛衝突之可能性，步行改善計劃考量指標為：步行安全性、步行安全感、步行方便性、步行連續性、步行舒適性、步行系統一致性及步行環境吸引力等七項（Fruin，1971）。而步行外出時將受到特定程度障礙時，稱之為「交通能力受限者」，包括了肢體殘障者、視聽覺殘障者、平衡機能障礙者、高齡者、孕婦、兒童等，定義如表 2.1。但以往無障礙空間的設置重點，多數僅考量輪椅使用者與視覺障礙者，爾後的運輸規劃策略另需具備下列條件：通行性、安全性、舒適性與安心性（土木學會，1992）。對於考量交通能力受限者，在交通設施的規劃與設計上，將面臨下列課題（葉光毅、吳永隆，1998）：

- 一、具活力之高齡化社會之交通建設。
- 二、考量使用者心理特性之交通建設。
- 三、分擔交通以外機能之交通設施。
- 四、高齡化社會。

五、符合交通能力受限者交通條件之設計。

六、人性因素之考量。

表 2.1 交通能力受限者之對象層別與問題要素

交通弱勢族群		對象層別	問題要素
步行障礙	無法步行	電動輪椅使用者 手動輪椅使用者 擔架使用者	1. 垂直移動困難 2. 坡度路面通行困難與危險 3. 路寬狹窄處通行困難 4. 路面凹凸、溝、縫隙等通行困難 5. 視野及手的操作範圍受限
	步行困難	手杖 使用步行輔具者	1. 垂直移動較困難 2. 坡度路面通行困難 3. 路寬狹窄處通行困難 4. 路面凹凸、溝、縫隙等通行困難 5. 長時間移動能力低 6. 混雜交通中移動能力低
視聽覺障礙	視覺障礙	全盲	1. 路面凹凸、溝、縫隙等通行危險 2. 確認目的地位置與路徑困難 3. 路面及空中障礙物之潛在衝突危機 4. 交叉路口、坡道及車庫出入口之危險 5. 交叉路口號誌認知困難
		弱視	1. 顏色識別能力差 2. 無法判讀小字體 3. 難以注意路面之凹凸
	聽覺障礙	全聾 聽力受損	1. 警示音響接受困難 2. 無法擷取以聲音表示之資訊
		語言障礙	無法清楚表達其意志
總合機能衰退		高齡者	1. 判斷、反應及步行速度緩慢，易造成事故 2. 易疲倦、如廁頻率高 3. 複雜情報處理困難 4. 平衡能力較差，易跌倒或摔倒
其他	障礙者	內部障礙者 巧緻性障礙	1. 長時間站立困難 2. 操作器械困難 3. 手持物品困難
	健康者	孕婦 帶小孩的人	1. 混雜交通中移動困難 2. 重物攜帶困難 3. 視線位置較低 4. 手的操作範圍受限 5. 持物長時間步行困難

資料來源：日本土木學會，地區交通計畫，1992

2.1.2 小結

地區性交通計畫主要意義為：「滿足某一地區及其附近居民日常活動之交通，並為達成確保居民生活環境、生命安全之目的，根據試誤及其他地方經驗所建立之交通計畫理論」。由於都市計畫中道路建設多以幹道為主，使得構造地區性交通計畫基礎之街巷規劃準則難以確立。

狹隘的人車混合道路，行人及自行車使用者將有受威脅之不安感，另外，由於通過性交通侵入，使居民在路邊停車時將產生困擾。一般採用策略均屬封閉道路或管理行車速度等管制方法。如何在現有道路結構型態下，探討交通運用與環境問題之合理化，也是地區性交通計畫應隨著社會環境進步而提昇之目標（許添本、李明聰，2002）。

都市中汽車交通的混雜現象將對都市交通之效率、環境水準、經濟活動等產生影響，相關部門應妥善分工各盡其責，以建設公共交通系統、抑制汽車交通策略及環境整建計畫等方式改善之（文國璋，2001）。在綜合交通計畫中必須整合幹道交通計畫及地區性交通計畫，取得均衡之可行性。

也因為交通問題和環境問題與地區居民有直接利害關係，故應在計畫過程中導入民眾意見，對民眾所提建議進行試誤比較，以確保計畫之實用性並提高居民接受程度。



2.2 運輸多樣性

2.2.1 永續運輸

由於交通發展是影響永續發展最重要的因素之一。其涉及土地之開發使用，影響生活環境甚鉅（交通部運輸研究所，1997）。運輸工具所造成之大量污染及引發相關環境破壞等課題，都成為永續發展主要的探討目標。因此，永續運輸將成為永續發展最重要的研究主題之一（許添本，1998）。而永續運輸的基本理念在於必須重視：

- 一、行人：不只發展良善的步行空間或人本交通之理念，而應改變土地使用結構及路網結構，促成以徒步完成旅次之目標。
- 二、自行車：除自行車專用道外，亦應鼓勵以自行車替代機動車輛完成旅次。
- 三、大眾運輸：廣建專用道以提升運行速率並增加可及性外，亦應強化綠色運具及相關人性化之設施。
- 四、交通安全：以事先的規劃與設計避免肇事所產生之資源浪費與污染。

交通運輸是經濟體系的一環，擔負人與貨品移動的任務，拓展個人及工商業活動領域。但運輸活動對環境有噪音污染、空氣污染、水污染及自然資源耗損等負面影響（Maclaren, 1996）。而永續運輸即要求運輸政策擬定時，考量環境保育之外部效果、社會公平及經濟方面資源有效率地使用與維護，在建設與發展上均不得無節制地利用資源，以滿足各世代運輸的需求（馮正民、林楨家，2003）。

永續運輸因考慮永續發展的意義，方案之衡量指標有別於傳統之評估方式，而不同的交通策略，採用的衡量指標應該也有所區別（Balsaa, 2003）。其中，經濟合作與發展組織（Organization for Economics Co-operation and Development, OECD）對於運輸與環境指標之定義如表 2.2（Gilbert and Tanguay, 2000）所示：

表 2.2 OECD 運輸與環境指標表

指 標	說 明
運輸密度	包括乘客與貨物運輸，以「延人公里／國內生產毛額」和「延噸公里／國內生產毛額」這兩項數值作為國家運輸密度的指標。
車輛	每一車輛每年之平均行駛里程（延車公里）為一穩定數值，所以道路車輛數是空氣污染的好指標。此外，平均車輛容量亦相當穩定，故車輛擁有者（每車種數目）的密度是道路延人公里的間接指標。
燃料消耗量	運輸的燃料消耗量是運輸能源密度和經濟的象徵，也是空氣污染排放的重要象徵。配合延車公里資料可提供運具燃料效率的資訊。不同種類燃料之消耗量亦可用以評估空氣污染事件與燃料品質管制的影響程度。
運輸公共設施	運輸公共設施的密度與範圍是運輸服務發展的狀態指標，也是土地區分的重要指標。運輸公共設施的路網密度以道路和鐵路路網的長度和密度來量測。
空氣污染	空氣污染排放是地區環境品質和相關健康風險的指標。地區上運輸導致的空氣污染可以由 NO_x 排放量來量測。整體運輸導致的空氣污染可以由 CO_2 排放量來量測。在比較燃料消耗量時，運輸所產生的二氧化碳排放量是燃料有效使用的指標。
安全風險	安全風險是運輸外部社會成本的重要指標。交通肇事率（每延車公里的傷害或死亡數）是道路交通社會成本大小的指標。
定價與課稅	車輛擁有和操作的稅賦影響個人移動的需求。指標可以是油價的成長趨勢、燃料稅與油價。
補貼	用以促進及當作永續運輸發展的短期指標。指標是運價補貼的比例。

資料來源：Gilbert and Tanguay, Sustainable Transportation Performance Indicators Project, 2000

在台灣，為確認運輸系統是否朝向永續發展，因而建構相關量化指標（交通部運輸研究所，2002），包括：

一、環境面：

保護區及保育區之比例、集水區之比例、丙種建地面積、檳榔樹種植面積、茶樹種植面積、空氣污染指標（PSI>100 的天數）、交通工具佔空氣污染陳情處理案件百分比、交通噪音佔噪音陳情案件百分比、運輸系統耗用能源數量、機動車輛之數量、道路路網新建面積、運輸系統使用之土地面積、路網密度、報廢車輛之回收比例。

二、社會面：

大眾運輸路網服務密度、大眾運輸之服務人數比例、運輸設施分布與人口分布相對比例、預算分配與運輸需求相對比例、輔助器具補助金額、特定族群使用大眾運輸之比例、偏遠地區運輸建設經費比例、偏遠客運補貼比例、每萬輛車肇事次數、每萬輛車肇事死亡人數、每萬輛車肇事受傷人數、易肇事地點數量、交通違規舉發數、交通安全教育宣導經費、民眾抗爭活動次數。

三、經濟面

大眾運輸之平均載客率、每員工服務旅客數、虧損比例、使用者所付稅費中用於道路維護金額相對於總維護金額之比、運輸業違規營運之比例、空運客運量、鐵路客運量、小汽車年成長率、機車成長率、交通量 K 值、各使用分區之人口密度、機車的比例、計程車的比例、運輸研發支出佔國內生產毛額之百分比、移動性污染源之污染防治經費比例。

永續運輸是未來導引交通系統發展觀念全面性改變的重要目標，也是相關交通政策擬定的依據（Henson and Essex，2003）。因此，永續運輸應尋求發展模式以使運輸需求及資源耗用最小化，滿足個人和社會基本可及性需求，照顧交通弱勢及外部效果內部化，以追求環境保護、社會公平及經濟效率的運輸系統（Button and Nijkamp，1997）。

根據本世代對於永續之定義，系統中同時考量並權衡（trade-off）環境面、社會面及經濟面之因子，即可謂之永續發展，故本研究以永續三構面為系統目標，分別擬定各準則構面及元素，以符合永續運輸之要求。在 OECD 及運輸研究所之指標界定中，部分指標無法在都市運輸系統中明確表達，如檳榔樹及茶樹種植面積等，故本研究未對該類指標進行分析。另由於多數指標屬量化性質，在資料取得及權益關係人之認知上難以整合，因此本研究將進行歸納與統整，以權益關係人易於了解並表達其認知者為選取準則項目。

2.2.2 運輸多樣性的沿革

運輸是人們為了從事社會經濟等活動，而使人或貨物從某一點到另一點發生移動的行為。因此，運輸不僅是人類社會中各種活動的一部分，更是為了滿足人類活動所衍生的需求（ITE，1999）。然而，由於人類活動的多元化，造就了不同族群人們在運輸面的需求多樣性，加上運輸科技與交通能力持續地進步，交通設施與運輸工具也趨於多樣。為了符合現實狀況，運輸規劃在政策、計畫及制度面均逐漸納入多樣性考量的因子：

一、政策面

由於人類致力於追求物質與經濟成長，為使運輸成本降低，以提升運輸效益，大量交通建設的開發嚴重破壞自然環境的使用；更因運輸工具的使用所排放大量廢氣，導致溫室效應、臭氧層破壞等全球性危機，並威脅人類賴以維生之生態系統（OECD，2004）。因此，已開發國家運輸政策由原先單純地追求經濟效率逐漸轉型，多面向地考量環境層面的衝擊；更進而重視社會的公平性。其中，以 1962 年美國聯邦補助公路法案為開端，其強調綜合性（Comprehensive）、協調性（Coordination）與持續性（Continuity）之所謂 3C 政策，基本要義包括：視所有運輸設施為一系統、涵括各種運輸工具、考量客運與貨運、範圍不僅限於現有都市地區、相關部門單位均參與規畫作業協調、及納入不同專業領域之參與者（Cervero，2002）。運輸政策目標由單一轉而多元，亦即多樣性之精神表示。

二、計畫面

基於運輸政策的變遷，運輸計畫施行之策略與措施均逐漸多樣化，美國在 1969 年國家環境政策法案（National Environmental Policy Acts）之前，為追求經濟效率的目標，因此不斷地建設新的運輸設施以因應未來的運輸需求成長。但近年來，由於人們逐漸重視自己的居家生活環境品質、保護野生動物的觀念、文化及古蹟等之保存等評估（Black，1997），運輸政策已轉為追求環境保護、社會公平及經濟效率之永續發展。進而有空氣清淨法案、國家古蹟保存法案、淨水法、瀕危生物法案及環境影響評估等立法，確立運輸計畫策略需廣納多元化的考量（Moldan，1997）。此外，陸運方面藉由運輸系統管理與運輸需求管理，促進大眾運輸（王慶瑞、2001），尤著重於軌道運輸系統，1991 年運具間陸面運輸效率法案及 1993 年綠色運具的概念，也成為運具多樣性之觀點。

三、制度面

以往交通運輸的規劃，僅由運輸專業規劃人員依其專業素養，進行課題探討與方案研擬，且缺乏不同部門之間的整合。不僅無法確切了解不同的意見與需求，亦可能在追求經濟效益的目標時，犧牲了環境保護與社會公平（ECMT，

2004)。而現今各國法令均明確規定，在重大建設開發程序中，除各相關部門參與協調外，更需舉辦公聽會讓地區民眾了解開發內容並表達其意見，以期在規劃時期即能獲得該區域多數人民之認同（Nijkamp and Pepping, 1998）。協同式規劃與策略規劃等注重權益關係人參與規劃研擬過程之規劃方式，亦受各開發國家公部門重視與採行。

2.2.3 小結

永續發展源自於人們對環境保護的認知與重視，也因此環境生態面的永續指標相對於經濟及社會面而言較為完善。運輸所造成能源大量消耗、環境嚴重污染及對生態、棲息地與生物多樣性的破壞等環境課題，可以藉由替代能源及綠色運具的改善緩和之。而本研究期以克服私人運具外部成本內部化、運輸系統營運管理效率不彰、交通設施分配比例不均、運輸資源忽略弱勢群體需求、運輸服務供需不平衡等經濟及社會課題，以需求多樣性的運輸規劃模式達成社會公平與經濟效率，實現永續運輸的目標。

2.3 研究方法

2.3.1 感受性系統模型（Sensitivity Model）

感受性系統模型發展的起源是從德國法蘭克福的區域計畫部門，1980年，為了進行結合該地區生態與人口稠密區的研究而產生的主要成果（Vester, 2000）。感受性系統模型主要透過系統辨識、系統模擬及系統調控等三個階段的過程，將現實世界的複雜系統導入生物控制論的架構，進而找出系統變動的趨勢。對於一個系統是否符合生物控制論的特性，感受性系統模型採用質化的模擬方式，透過團體的諮詢與討論作為系統資料建構的方法，模型的特性在於利用直覺性、概念化及模糊化的方式來表達系統的主要結構，藉由模型系統性的架構引導，讓使用的團體對於系統進行生態原則的評估（詹士樑，2001）。

感受性系統模型主要概念與操作流程為：

- 一、把握系統要素之間的相互關係，著眼於系統的整體行為，也就是對於系統辨識的過程。
- 二、運用系統動態的觀念為基礎，實現系統動態調控，也就是系統模擬的階段。
- 三、運用生物控制論原理，增強評估生態系統自我調控機制，也就是對於系統調控的評估過程。

其中，生物控制論主要是依據大自然的經驗，學習大自然的法則與運作的方式，探討生物在自然的競爭中，如何運用本身的條件與優勢。對於系統的發展狀態，感受

性系統模型利用生物控制論的原則進行評估，此評估方式有別於傳統評估方法以效益評估或邊際效益評估的方式。發展初期即陸續應用在一些城市的生態系統結構及發展潛力分析的研究（吳書萍，2001）。

感受性系統模型為符合了解整體系統行為及系統要數間之關聯性，以利規劃者進行系統動態模擬及生物控制論評估，操作程序及其意義可區分為三大階段：

一、資料收集與整合

此階段中主要即為「辨識」的過程，對應至模式流程中則包括了系統描述、變數設定、準則矩陣的建立、影響矩陣的建立、系統角色的定義等。運用感受性系統模型進行模擬首先要界定系統的範圍，主要的工作在於基本資料彙集、篩選、分類及元素間相互關係的界定，以瞭解系統變數代表的功能，進而選定模型系統中所需要的變數，確認系統範疇。在這個階段，最重要的工作是建立準則矩陣對於所收集的因子進行系統運作的評估。準則矩陣的評估是利用感受性系統模型所提供的四大類別（都市部門、物理性、動態性及系統關連性）下十八項準則進行評估（黃書禮等，2002）。

在系統辨識過程中，係由團體諮詢及討論的方式，建構系統資料。探討過程中，權益關係人必須對於系統範圍的描述、系統中變數的設定及系統中變數相互影響關聯程度進行評量，並透過協商得到共識。

（一）系統描述（System Description）

針對要研究的對象，將之設定為一個系統的架構，包含該系統範圍的界定、影響因子的自然特性、變數間相互依存及獨立性、系統意象、初步系統建構，以文字敘述的方式描繪。

（二）變數設定（Variable Set）

建立組成系統的主要變數表單，並對各變數給予定義及描述，使之瞭解變數的特性與意義，可以掌握系統發展的趨勢及變化。根據經驗顯示，系統變數的個數依系統的複雜程度而有不同，並無強制規定，但以三十個左右的變數個數較能顯出系統的全貌。

（三）準則矩陣（Criteria Matrix）

根據變數設定過程中所建立出的變數，對照模式內部所內建的準則，考量與周遭環境間的關聯程度，建立準則矩陣，以「極度相關」、「一般相關」及「無關聯」三個等級來區分其間的關係，並分別以 0、0.5、1 為其得點，如圖 2.1 所示。目的在於對變數建立的過程作一衡量的工作，審慎瞭解變數的組合是否含括各部門，足以描述整個系統，可以對變數的選擇進行修正。

Criteria Matrix

System model: taiwan

Criteria	SECTORS OF LIFE							PHYS. CATEG.			DYNAM. CATEGORIES			SYSTEM RELATIONS				
	Economy	Population	Land utilisation	Human ecology	Natural balance	Infrastructure	Communal life	matter	energy	information	flow quantity	structural quantity	temporal dynamics	spatial dynamics	opens syst. input	opens syst. output	Influenced intern.	Influenced extern.
5 biological resources	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 biodiversity	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 soil & water	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 env. alienation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 Friction of space	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 social anomie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 time constriction	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12 type of consumption	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13 structure of industry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14 env. & energy consumpt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 allocation of governme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 organization&policies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 specific policies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 information	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19 production	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 living	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21 environment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22 life	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total :	13.0	11.5	13.5	17.0	16.5	11.0	13.0	16.0	9.5	6.5	12.5	10.0	13.0	15.0	18.0	16.0	14.0	12.0

資料來源：黃書禮等，永續台灣評量系統之政策永續性分析－感受性系統模型之運用，2002

圖2.1 感受性系統模型之準則矩陣

(四) 影響矩陣 (Impact Matrix)

影響矩陣主要在建立變數與變數間相互影響關係的情形描繪。透過三個群組的討論，最後得到一個共同的結果，該結果則有較高的共識，足以代表系統中的意見，利用四個等級的影響程度表現，是一種簡單且模糊的系統概念，來衡量變數間的影響。操作介面如圖2.2所示。

Impact Matrix

Consensus matrix

System model: taiwan

Effects of ↓ on →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	AS	P
1 air	X	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	16	456
2 water	0	X	1	0	2	2	3	1	0	1	0	1	1	0	2	1	20	660
3 land	0	3	X	3	3	3	3	1	2	2	0	0	0	0	2	1	26	780
4 land use	0	2	1	X	2	3	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	19	486
5 biological resources	2	2	1	1	X	3	3	2	1	0	0	0	1	0	1	1	22	704
6 biodiversity	1	1	0	1	3	X	2	0	1	0	0	0	1	0	1	1	14	406
7 soil & water	1	3	2	1	1	1	X	1	0	1	0	1	2	0	1	0	20	640
8 env. alienation	2	1	3	1	2	2	1	X	2	2	1	0	0	2	0	0	22	506
9 Friction of space	1	2	2	1	1	1	1	2	X	2	1	1	1	1	0	0	24	552
10 social anomie	0	0	0	0	0	0	0	1	2	X	1	0	1	0	1	1	16	480
11 time constriction	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	X	0	0	0	0	0	3	30
12 type of consumption	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	0	X	2	3	1	0	31	496
13 structure of industry	3	3	3	2	2	2	2	1	2	3	1	1	X	3	2	2	44	1012
14 env. & energy consumpt	3	3	3	2	2	2	3	2	1	2	1	3	2	X	2	2	45	1215
15 allocation of governme	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	0	2	2	X	1	27	648
16 organization&policies	2	1	1	2	2	2	1	0	1	1	0	0	1	2	1	X	22	362
	26	33	30	24	32	29	32	23	23	30	10	16	23	27	24	16	PS	
	62	61	87	79	69	48	63	96	104	53	30	194	191	167	113	138	Qx100	

Consensus: A B C

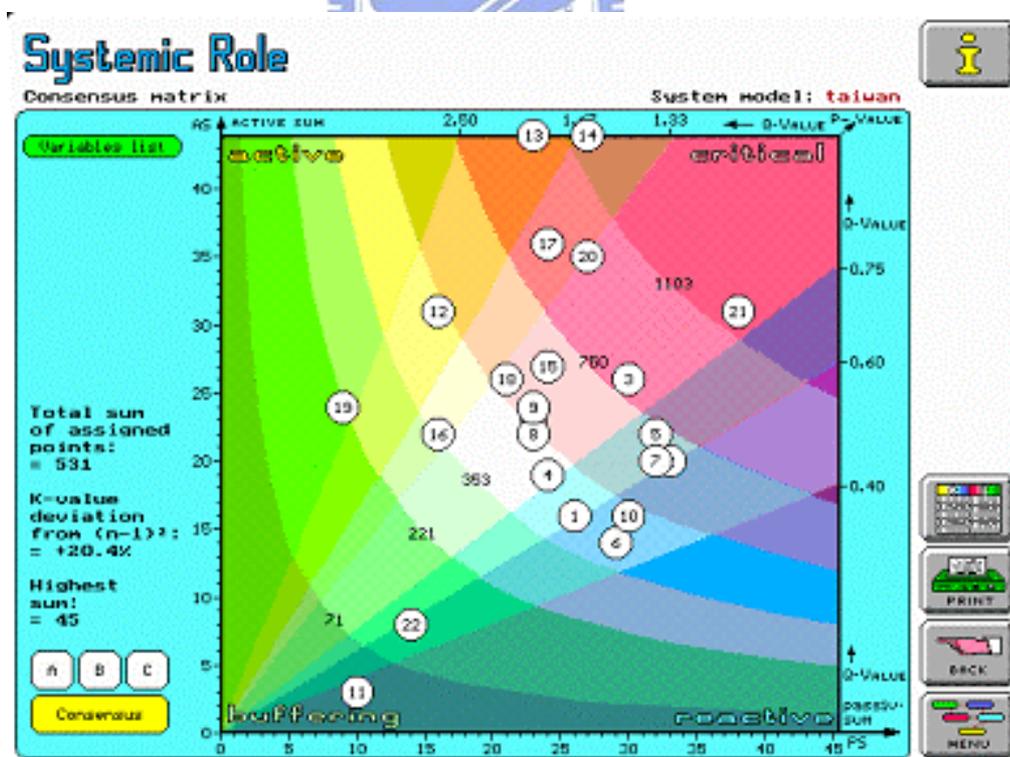
資料來源：吳書萍，應用靈敏度模型評估社區永續性－平等里個案之探討，2001

圖2.2 感受性系統模型之影響矩陣

此外藉由影響矩陣的建立，計算出系統角色判定的依據數值，即AS（Active Sum，變數主動影響程度的總和）、P（Product，該變數在系統中的影響程度）、PS（Passive Sum，變數被動影響程度的總和）、Q（Quotient，變數主動影響與被動影響的比值）等。利用這四個值的計算可以表現各個變數在系統中的角色扮演以及釐清變數間的角色關係。

（五）系統定位（Systemic Role）

從影響矩陣中計算出每一個變數在系統中所代表的角色，表現在此步驟中，藉由四個座標軸所區分的數十個不同顏色的區塊來說明。對應至AS，當AS的值越大，則該變數主動影響其他變數的力量越強，在系統中佔有越主動的地位；若該變數的PS值越大，越容易受到其他變數的影響，變數的角色越被動；對於P而言，若變數本身對於系統的影響力與被影響力越高，顯示出變數在系統中扮演關鍵性的角色，迴路關係多，反之當P越小表現出的鈍性越強；另一方面，Q值以該變數影響力與被影響力的比值關係，值越高，則說明變數的變動程度不及系統中其他變數變動的度，所擁有的主動性越高，如圖2.3。此過程詮釋了系統的精華，透過模式的運算與操作，能夠清楚的瞭解各個變數的特質，成為後續變數變量與變數容量化劃定的依據。



資料來源：吳書萍，應用靈敏度模型評估社區永續性－平等里個案之探討，2001

圖2.3 感受性系統模型之系統定位

二、系統控制

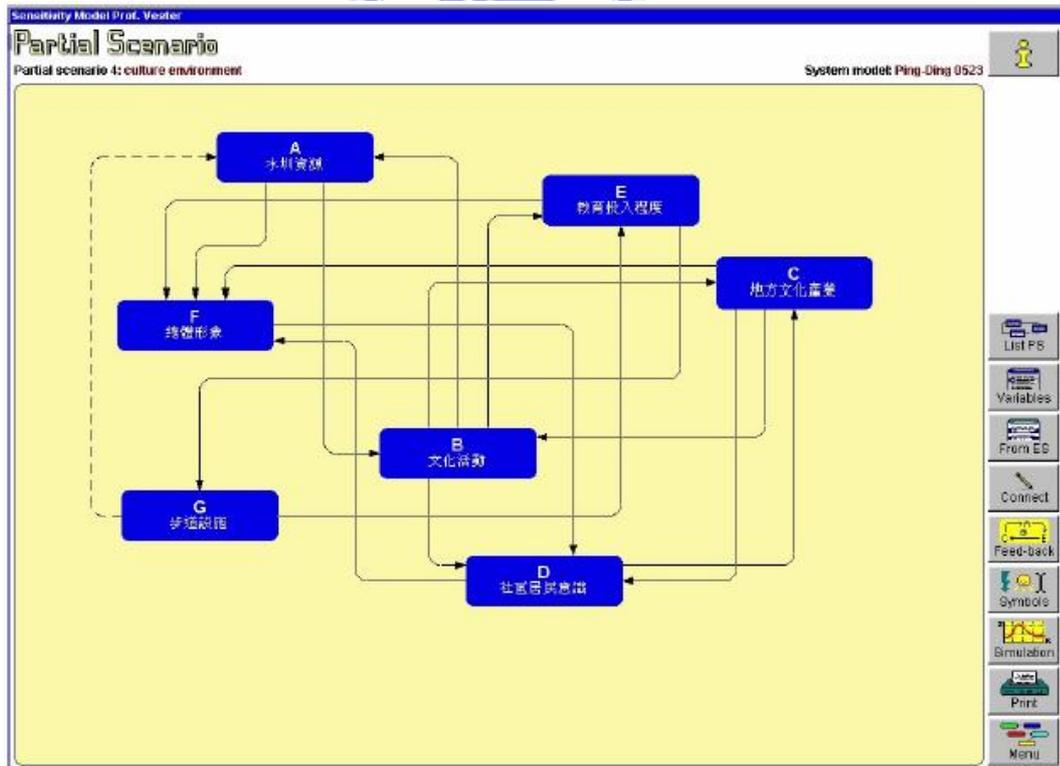
系統的控制部分屬於模擬，包括系統關聯的建立、次系統關聯的建立、動態模擬等。

(一) 系統關聯 (Effect System)

模式的建立基礎在於系統的觀點，利用系統關聯的建立，將設定的變數與變數間的動態變化及相關性顯現出來，例如正回饋關係與負回饋關係的呈現，可以明確的解釋系統的變數組成架構，也有利於後續階段次系統建立時的依據。

(二) 次系統關聯建立 (Partial Scenarios)

此階段承續著系統關聯中對於變數間的關係，進一步顯現系統中所可能包含的次系統（子系統）。經過前述對於該系統應該已有一個初步的認知與辨識描述的過程，而系統內部的問題或是參與者想要探討的部分在此步驟中浮現。參與者在儘可能不違背系統關聯環路架構下，自由的選取想要深入的部分，分解原有的關聯，也可以解釋為對系統中問題的發現與預期解決，因此主要在於能夠獲得變數與變數間的變動狀態，可以從不同的角度來思考系統中的問題及變數變動的牽引。次系統關聯建立之操作介面如圖2.4所示。

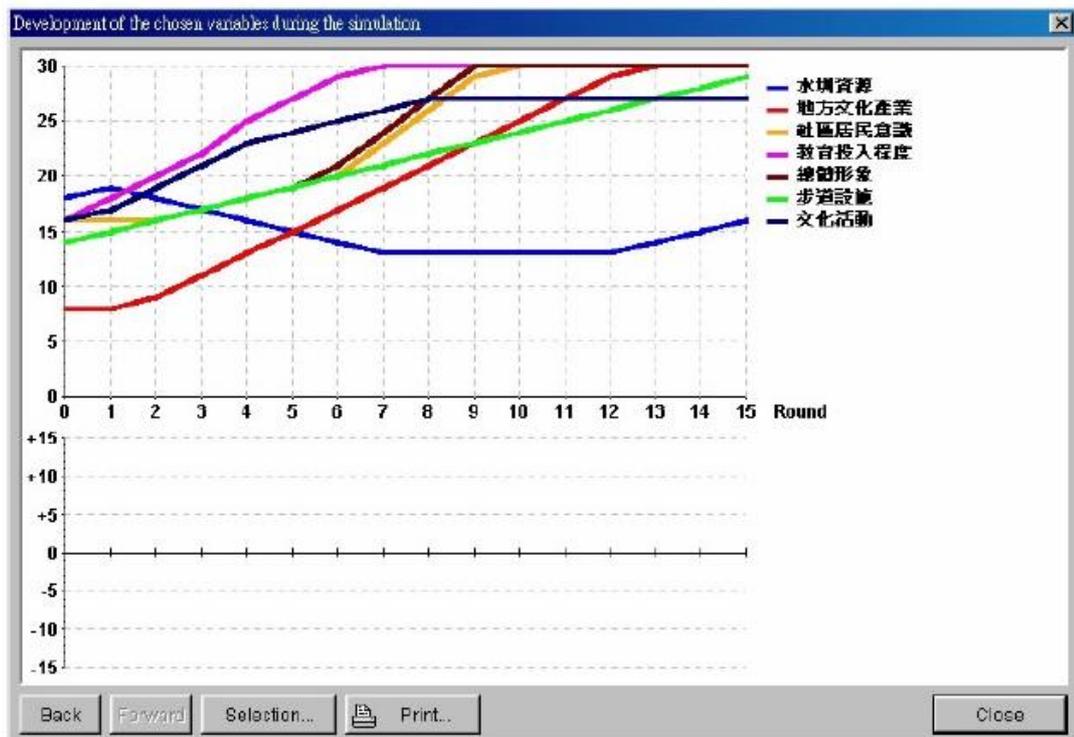


資料來源：林郁芳，生物控制論評量方法與感受性系統模型之檢討，2002

圖2.4 感受性系統模型次系統關聯建立

(三) 動態模擬 (Simulation)

針對所建立完成的次系統進行動態模擬，依各個次系統中所選定的變數，設定變數的起始值（初始狀態），即對變數進行容量設定；此外考量變數與變數間可能互相影響的成分，藉由設定兩者間特有的函數變動關係來表現之。設定值完成後即進行動態模擬的步驟，根據系統所需調整模擬的回合次數，亦可由漸進式的模擬瞭解到每一條變數間的關聯線動態流動的情形，如圖2.5所示。而在模擬的過程中，可以在任何階段對系統變數進行調整，即作為未來政策介入系統時間點的參考（林郁芳，2002）。



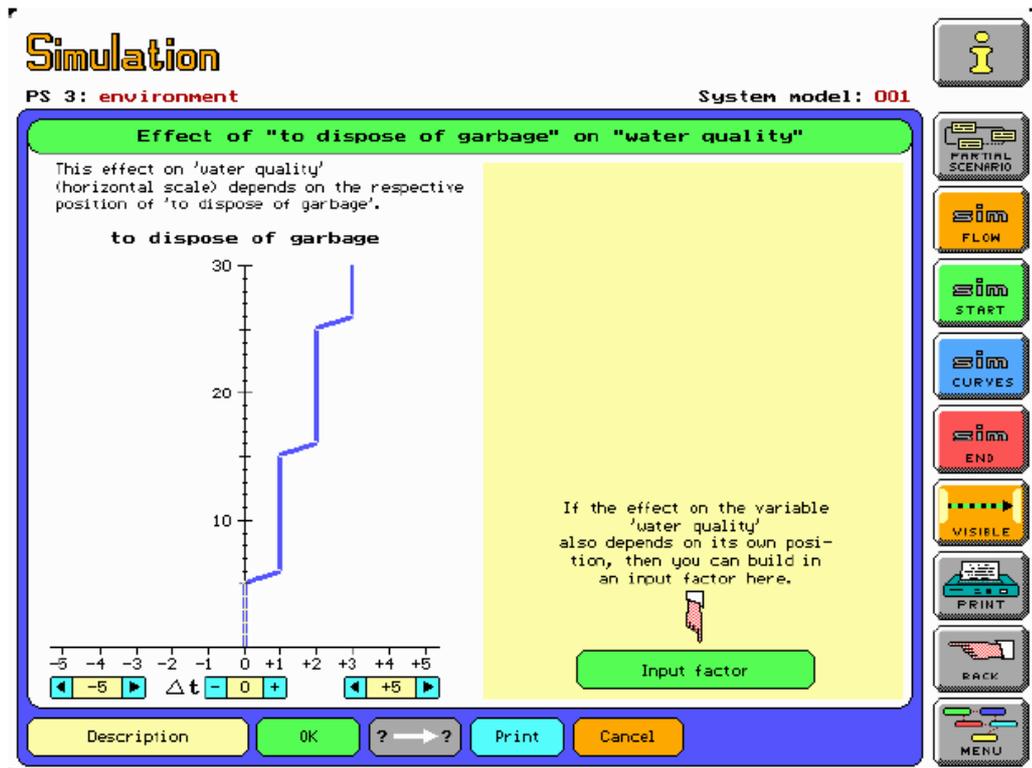
資料來源：林郁芳，生物控制論評量方法與感受性系統模型之檢討，2002

圖2.5 感受性系統模型動態模擬示意圖

三、生物控制論評估

關於控制論評估的部分，則屬於調控的階段：控制評估 (Cybernetic Evaluation)。系統內設置了生物控制論的八項準則，評分方式則由討論系統前階段的各項過程產生的結果。然在前項動態模擬的最終輸出並非主宰了控制論的評分，還是得從過程中逐步分析。故可藉由評分出的各項準則權重，瞭解系統內部運作的情形，及各準則對系統的影響，若政策的介入使系統的運作背離永續經營，則重新修正政策的內容及執行的時間。

感受性系統模型中系統控制與調控概念，源自於系統動態學的精神，目的亦在於建立系統的因果關係（Effect System），且瞭解各變數在系統中所扮演的角色、系統內部的回饋特性、系統的多樣性，以及系統的依存性，據以進行系統模擬與評估的基礎。由於該系統模型中，系統變數間特定之函數特性，亦由規劃者依主觀、專業的判斷進行（如圖2.6）。



資料來源：吳書萍，應用靈敏度模型評估社區永續性－平等里個案之探討，2001

圖2.6 感受性系統模型之系統變量函數關係

本研究擬應用感受性系統模型資料蒐集與整合階段之概念，確認系統範疇內變數彼此間之影響關聯程度及各變數之定位。但因感受性系統模型所應用之評估準則無法依系統需要進行更動，故本研究根據其理論及操作方法，另行以其他軟體進行都市永續運輸系統之辨識工作。

由於感受性系統模型所進行之評估，係以生物控制論為基礎，無法直接應用於本研究。且該模型進行系統動態模擬時，並不包含評估準則的狀態變動，與本研究欲以模擬了解政策介入後各項準則對於永續發展績效的評估有所衝突。故本研究以系統動態模型中，強調概念性與模糊性因果關係之動態系統決策分析工具－模糊認知圖，建構系統影響分析模式，並觀察都市運輸系統之動態變化。

2.3.2 模糊認知圖 (Fuzzy Cognitive Maps, FCM)

系統是由若干相互作用元素所組成之複合體，依不同分類標準，系統可區分為自然與人為、靜態與動態、確定與不確定、開放與封閉及實體與抽象等。系統應具有集合性、關聯性、目的性與環境適應性。系統分析是以系統的探討來協助決策者進行抉擇，其過程為蒐集所有目標及達成目標之所有不同手段，並以效果衡量該目標與手段，考慮能力及範圍內之所有不確定因素，進而找出實現目標之各可行方案，系統分析方法是把對象作為系統進行研究、設計與管理之方法。系統動態學 (System Dynamics) 起源於1960年代初期，最早是由美國麻省理工學院所推動，結合決策論、模擬學、資訊回饋與控制學而建立的學論，主要用於解決企業、社會或組織中具有動態複雜性問題 (何友鋒等，2002)。

系統動態模型是以量化的方程式或圖形函數，模擬複雜系統中各變數之因果關係，考量回饋作用，透過動態變化分析，推測系統之變化趨勢。首先建立起具因果關係之各關聯變數間的結構，並將各變數間因果關係進一步轉化為足以表達各變數角色之流程圖，進而以函數定義質化與量化之作用關係，最後加以運算並進行動態變化之模擬 (馮正民、邱裕鈞，2004)。

系統動態學有三項資訊將對結果有重大影響，即系統結構、時間滯延及政策。系統結構可能隨時間、情境而改變；時間滯延可能因科技的進步，各種資訊的傳輸因而縮短，但相對資訊的多樣化及高度複雜程度，則可能導致時間滯延的增加；政策實驗時更應多注重其變化對系統的影響。經由長時間的發展及眾多學者研究後，系統動態學的原理逐漸普及，應用範圍也跳脫原本企業政策的制定之方面，進而擴展到工程、醫學、管理、心理學及經濟等眾多領域之中，而對於如此廣闊的研究領域，系統動態學都是以一種統一的觀點去把握系統結構 (Graham, 1980)。

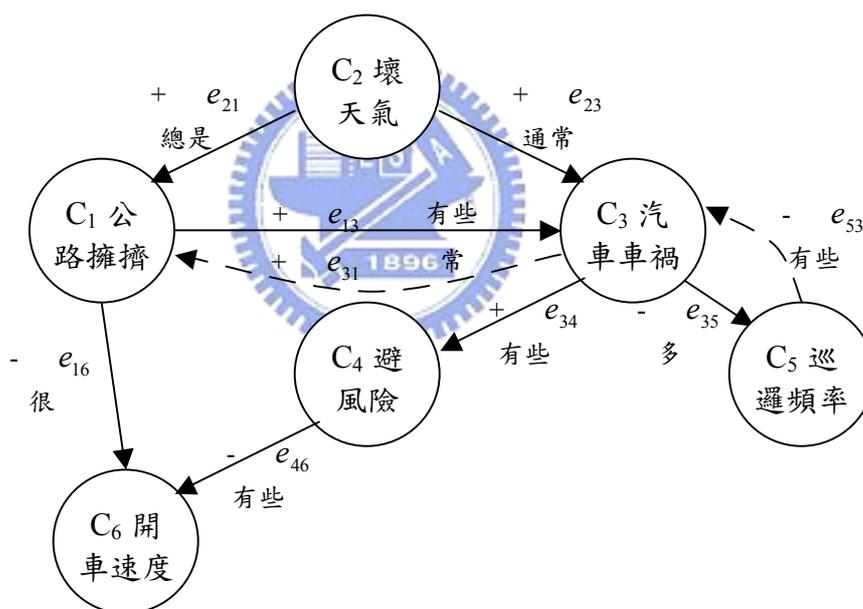
系統動態學能處理隨時間變化的動態行為問題，是應用因果關係及情報回饋的觀念來分析系統結構，與影響系統行為決策及探討情報過程中的時間滯延，以了解整個系統內交互影響的動態行為，進而建立動態模式，以模擬系統的成長或穩定，提供決策者作為決策的方針或參考 (謝長宏，1987)。系統動態學是研究組織系統動態行為特性的方法，經由對組織內部情報回饋過程的分析，並藉計算機的模擬而顯示組織系統的結構、政策、延滯是如何交互影響於組織系統的成長和穩定 (陸建浩，2002)。

由於系統動態學是以定量的數學模式分析方法，對複雜的社會經濟問題，利用系統分析與決策系統的原理，配合系統的情報回饋及滯延，透過模擬反應實際運作狀況，作為策略修正及方案評估的依據。然而，本研究中系統除量化變數外，亦存在有質化特性的元素；另外，系統內各變數間因果關係無法以確切之定量數學方程式表達，或該定量模式尚未獲得學術及實質規畫上之認同。因此，本研究應用系統

架構與系統動態學類似，但較為簡化，且以類似馬可夫過程演算法表示系統狀態變化之模糊認知圖方法進行系統之模擬。

1976年Axelrod提出認知圖（Cognitive Maps）理論，主要目的在於解決非結構性問題。其方法為利用因果圖建立變數間之相關性，變數即為系統設定中之節點，相關性以連結變數之弧線表示。認知圖之架構為一系統網絡而非單向樹狀圖，建構步驟先以不同變數及其連結來表示事件的情況，在以有連鎖關係之因素及影響強度來構成網絡，僅以正負號展示各變數間之正負向關係（吳信輝，2001）。

模糊認知圖係用以分析不確定因素間的因果圖，它連結事實、程序、價值與目標等，據以分析複雜事件如何互動和產出。模糊認知圖架構中變數間之相互影響具模糊特性及正負因果關係，故模糊認知圖為具回饋性的非線性動態系統。模糊認知圖加強認知圖之應用領域，特色在於模糊認知圖可處理認知圖中難以定義之變數間關係，強調只要獲得其大概關係即可（Kyung and Sung，1995）。模糊認知圖由影響變數及因素間之因果關係所組成（如圖2.7所示）。



資料來源：張蓓琪，EDI應用對流通業之影響因素分析－模糊認知圖之應用，2000

圖2.7 模糊認知圖簡例架構

圖2.7架構中，每個箭頭定義一個模糊規則，每個觀念節點為模糊集合，由事件或因果資料輸入決定其開啟或關閉，觀念節點啟動時放出因果資訊流，透過模糊因果邊至模糊認知圖中之其他觀念節點，模糊因果邊為模糊集合間之模糊規則（張蓓琪，1999）。

而模糊認知圖操作程序，主要可分成下列四個步驟：

一、建構目標系統

所建構目標系統中，必須包含節點（系統變數）及節點間之因果邊（影響關聯程度）。節點 C_i 代表現象變數、或為模糊集合，與類神經網路的神經元相似，將輸入非線性的轉換權重加總為數值輸出。因果邊 e_{ij} 以正負號表示 C_i 與 C_j 間，正向及負向之因果關係，但模糊認知圖中關聯性的界定，已不是認知圖中單純的正負向關係，而是可以 $[-1,1]$ 區間有理數表示的影響關聯程度（Carvalho and Tomè, 1999）。

系統係經整合專家意見，依據問題特性定義需納入系統考量之變數，並分析兩兩變數之間影響關聯程度為因果邊，以建構系統回饋圖形及因果回饋關係矩陣（Xirogiannis等, 2004）。以圖2.7為例，其因果回饋關係矩陣為：

$$E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & e_{13} & 0 & 0 & -e_{16} \\ e_{21} & 0 & e_{23} & 0 & 0 & 0 \\ e_{31} & 0 & 0 & e_{34} & -e_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -e_{46} \\ 0 & 0 & -e_{53} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

二、設定狀態起始值

起始值需經由縝密之定義及理性權益關係人及專家認可，方得納入系統考量。模糊認知圖中，每一項系統變數起始值的衡量基準，將轉換為 $[0,1]$ 區間的範圍，但限定該值必須為有理數，以避免矩陣運算時發生錯誤。

起始值可依系統變數之資料型態進行區分。量化變數資料多可以數量或比率表示，比例尺度滿足起始值條件，但數量尺度則需透過正規化之方式，設定上下限區間，將數量資料轉換為比例尺度。

質性變數可區分為等距尺度及順序尺度，應用上常以等距尺度代替順序尺度，因不同權益關係人所認定之滿足程度，無法以確切數字表示，只得略以 1、0.75、0.5、0.25、0 表示非常滿意、滿意、普通、不滿意及非常不滿意。圖2.7中各變數之起始值為 $[C_1 \ C_2 \ C_3 \ C_4 \ C_5 \ C_6]$

三、選擇門檻函數

門檻函數之功能在防止節點 C_i 值在運算過程中超出定義域，學者所界定之門檻函數型態有 Bivalent、Trivalent、Logistic Signal Function 等三種型態，門檻函數型態之選擇影響推論結果，選擇 Bivalent 或 Trivalent 型態之門檻函數較易得到穩定或振動結果 (Stylios and Groumpou, 1999)。

其中，最常使用的門檻函數為 Bivalent 型態，計算方法如式(2-1)所示：

$$C_i(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{if } C_i(t) \times E_i > 0 \\ 0, & \text{if } C_i(t) \times E_i \leq 0 \end{cases} \quad (2-1)$$

$C_i(t+1)$ 為節點 C_i 在第 $t+1$ 次運算之矩陣

$C_i(t)$ 為節點 C_i 在第 t 次運算之矩陣

E_i 為節點 C_i 之因果權重矩陣

其意義表示，矩陣計算結果中，所有大於 0 的變數狀態均調整為 1，而所有小於等於 0 的變數狀態則調整為 0，如圖 2.8 所示。

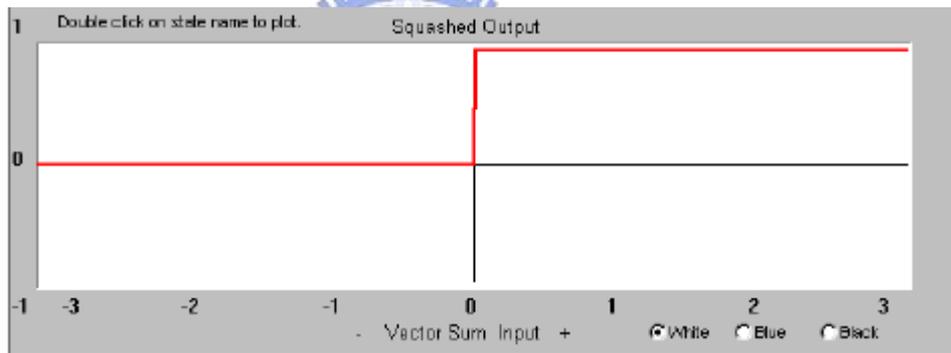


圖 2.8 模糊認知圖 Bivalent 型態門檻函數

Trivalent 型態 (如圖 2.9) 的門檻函數意義類似於 Bivalent 型態，但其過濾函數如式(2-2)：

$$C_i(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{if } C_i(t) \times E_i > 1 \\ 0, & \text{if } -1 \leq C_i(t) \times E_i \leq 1 \\ -1, & \text{if } C_i(t) \times E_i \leq -1 \end{cases} \quad (2-2)$$

$C_i(t+1)$ 為節點 C_i 在第 $t+1$ 次運算之矩陣

$C_i(t)$ 為節點 C_i 在第 t 次運算之矩陣

E_i 為節點 C_i 之因果權重矩陣

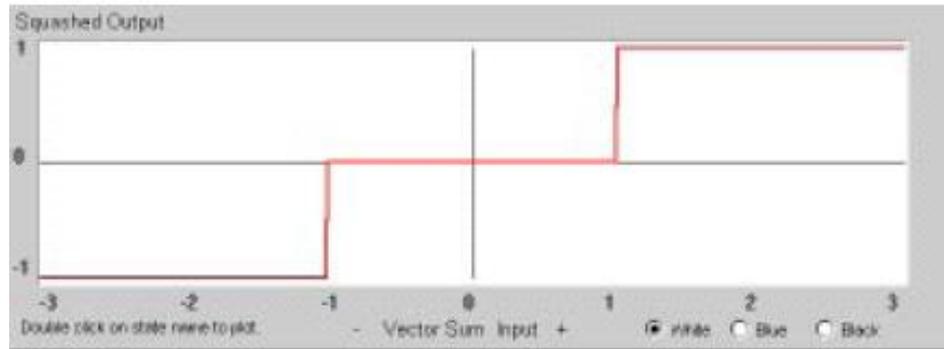


圖2.9 模糊認知圖 Trivalent 型態門檻函數

四、系統運算

模糊認知圖的運算架構，係將變數間的關聯程度以矩陣方式表達，另透過矩陣運算的方法展現系統的行為與狀態變化。其每一運算週期均表達回饋關係，以暫時性關聯記憶處理動態立即回應運算進行求解（張蓓琪，2000）。

以圖2.7簡例架構進行運算說明，假設該系統中所有影響關聯程度均為1，意

即該因果回饋關係矩陣為

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

，啟動 C_2 壞天氣因素，表示該

系統起始值為 $[0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ 。回合運算方式為起始值矩陣與因果回饋關係矩陣相乘，因此，第一回合運算結果為：

$$[0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

經 Bivalent 型態門檻函數過濾後，變數狀態仍為 $[1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$ ，表示公路擁擠與汽車車禍皆因壞天氣而增加。第二回合運算則以第一回合結果為起始值，以此類推。最終可協助了解目標回合數時，各該系統變數的狀態值，並可判斷該系統是否屬於有限循環。

2.3.3 小結

本研究著眼於感受性系統模型之特性與精神，其強調對整個系統的瞭解，忽略對系統中之個別變數作探討。模型利用不同向度之準則，經由權益關係人之集體討論後，選取有用之變數，並以系統動態的概念，來分析整個系統的架構及其間之相互關係；經由系統動態運算模擬，瞭解系統中每一變數之變動程度（施慈魂，1999）。

因此，本研究所建構之都市永續運輸評量方法，係應用感受性系統模型理論與特性，以質化的模擬方式，藉由權益關係人討論建構系統資料。以直覺性、概念化及模糊化的方式建立系統要素之間的相互關係，並確認變數在系統中所扮演的角色。

而模糊認知圖具備系統動態性複雜、系統回饋性互動及系統非線性關聯等特性（Vasantha and Smarandache，2003）：

一、系統動態性複雜

一般的數學模式可以分為靜態與動態兩種模式，靜態模式所描述的狀況不會隨時間而改變，亦即建立在時間無差異之假設。但運輸系統本身即為一個複雜的社經現象，其包括旅運行為之改變、運具選擇偏好之改變、活動頻率之改變、運輸環境之改變。

二、系統回饋性互動

以運具變數為例，由於運具間具有替代性，各種運具間存在著某種互動關係。若大眾運輸系統提供服務品質有正面性改善，將從而吸引更多的旅客，減少其他運具的使用，但隨著乘客的增加，擁擠程度將會提高及等候時間將增長，使得服務品質降低，流失乘客人數，乘客又將重新回流到其他運輸工具上。

三、系統非線性關聯

日常生活中所面臨的各種問題，並非以物理科學現象之線性模式即能完整表達，以非線性模式處理，方能較真實地代表各種管理上所面臨的實際問題。運輸行為屬於人類經濟行為的一部份，社會人文科學之一環，係由許多不同的元素所組成，元素間的影響並不單純是線性的，或者即使呈線性關係，但亦會因其因果回饋關係，使得其所表現出來的行為形成非線性結構。

基於模糊認知圖應用之特性，本研究利用感受性系統模型中，權益關係人所建立之變數模糊關係為系統投入，藉由模糊認知圖之操作，分析系統中變數間的因果關係，並了解變數狀態在系統模糊關聯程度影響下之變動。