

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 應用遙測輔助永續發展指標評量之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2415-H-034-005-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中國文化大學森林暨自然保育學系

計畫主持人：許立達

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 25 日

## 中文摘要

自 1987 年聯合國發表「我們的共同未來」以來，永續發展成為國際上的重要議題。為了付諸行動，國際上及國內政府單位及學術界均積極發展各種永續發展指標，以衡量並監測永續發展狀況。人類活動與環境之間的相互影響反映在土地利用上，因此在永續發展指標中土地利用狀況往往是最基本且影響層面廣大的指標。目前國內所研擬或採行的永續發展指標對於土地利用狀況大多是根據統計資料進行計算，然而土地利用統計資訊通常很少年年更新，而且與現實地貌也未必相符，反之，遙測資料不僅能忠實記錄地表狀況，而且時間頻率甚高，成為國土監測的利器。因此，本研究嘗試以 SPOT 衛星影像探討植生地貌與鄉鎮發展統計資料之關係，以評估以遙測資料輔助永續發展指標計算的可行性。分別就北部市郊鄉鎮及中部農林鄉鎮，以兩期 SPOT 衛星影像分析，結果顯示以衛星影像判釋的植生覆蓋率及平均 NDVI 值均和鄉鎮統計資料中的道路面積與人口密度資料有很高的相關。但在變遷方面，植生覆蓋率及平均 NDVI 值和鄉鎮發展統計值的變化相關性並不高。

關鍵詞：永續發展指標、鄉鎮、SPOT 衛星影像

## 英文摘要

Sustainable development has aroused intensive and extensive international concerns since the United Nations issued the "Our common future" statement in 1987. To put the discussions into action, governments and academic researchers, both internationally and domestically, have been trying to develop all kinds of indicators for measuring and monitoring sustainability. Because the interactions between human activities and the environment are reflected in land uses, land use conditions are often considered to be the most basic but influential indicator. Most of the proposed or adopted sustainable development indicators use statistic records to evaluate land cover conditions. However, those statistic records are rarely updated annually, and are not necessarily consistent with the actual land cover conditions. In contrast, remote sensing imageries not only provide faithful snapshots of the land cover, but also have a much better temporal availability, and it would become a powerful instrument for monitoring land cover changes. To explore the feasibility of using remote sensing to supplement the presentation of sustainable development indices, this study tried to use SPOT imageries to analyze the relationship between remote sensing-derived vegetation covers and township development statistics. Several suburban and agricultural townships in north and central Taiwan were selected for study. Results show that both the vegetation cover ratio and mean NDVI derived from SPOT images were highly correlated to road density and population density statistics of townships. However, vegetation changes detected on the satellite images were not significantly correlated with the changes in statistics of township development.

Keywords: Indicator of sustainable development, township, SPOT

## 一、前言

1987年聯合國「世界環境與發展委員會」發布了「我們共同的未來」報告(WCED, 1987),「永續發展」成為國際上重要的議題之一。聯合國 21 世紀議程中,要求各國以「永續發展指標」(indicator of sustainable development)為決策基礎,做為整合環境與發展及國際環境資訊流通的工具(Grubb *et al.*, 1993)。永續發展指標為瞭解與度量永續發展之總體進程(progress)與績效(performance)之評估或評量工具,不僅提供永續發展之綜合訊息,也是決策的指導及溝通的橋樑(於幼華與張益誠, 1999)。早期國內黃書禮等(1993)即著手從事建立永續台灣評量指標系統之研究,之後,如陳冠榮(1997)、游靜秋(1997)、李永展與何紀芳(1998)、李公哲(1998)等均曾進行永續指標研擬之相關研究。1997年永續會推動「永續台灣願景與策略」計畫,葉俊榮等(1997)參考聯合國永續指標系統架構,建立我國國家層級的「永續台灣的評量系統」。在地方層級指標方面,黃書禮(1996)、阮國棟與簡慧貞(1995)、李永展與張曉婷(1999)、張家祐(1999)、鄒克萬與王曦芬(1998)、蔡勳雄等(2001)、陳穎慧(2002)、謝政勳(2002)等,都對都市永續發展指標進行研究探討。蔡慧敏(2001)、蔡美戀(2002)、陳瑩真(2003)則針對離島、非都市縣市鄉鎮層級方面,探討地方性永續發展指標。2002年經建會推動「地方永續發展計畫藍圖」擬訂,有 11 縣市政府將擬妥各縣市的地方永續計畫,以與國家永續發展策略相呼應(蕭新煌, 2003)。

國內發展的各種永續發展指標大多已進入實務應用階段,例如「永續台灣的評量系統」包含有 111 個具體指標(劉兆漢, 2003);台北市亦由百餘個指標中篩選出適用於台北市的永續發展指標(臺北市永續發展委員會, 2004)。永續發展指標中土地利用狀況是最基本且影響層面廣大的指標,其中如「森林面積」、「農地面積」、「建築地面積」等土地利用狀況幾乎都是必備的指標。目前國內所研擬或採行的永續發展指標對於土地利用狀況大多是根據統計資料進行計算,然而土地利用統計資料往往無法每年調查或者甚至缺乏資料。

國際上利用遙測蒐集建構永續指標所需的土地利用及林況資料已相當普遍,國內雖然尚未將遙測列入「永續台灣的評量系統」的資料蒐集方法中,但將來遙測在永續指標資料蒐集上將佔有一席之地。事實上遙測在國內的發展與應用早已開始,在森林及土地利用監測方面也有很豐碩的研究成果,例如周朝富(1986)、鄭祈全、詹進發(1986)、蕭國鑫(1988)、周朝富、鄭祈全(1994)、陳文福(1995)、周天穎、王鈴津(1995)均曾利用遙測分析植生覆蓋或土地利用。因此,本研究嘗試以 SPOT 衛星影像為材料,以鄉鎮為尺度,分析遙測影像與鄉鎮統計資料之間的相關性,以探討應用遙測輔助永續發展指標評量的可行性。

## 二、材料與方法

### (一) 研究區域及衛星影像

本研究之分析範圍包括北部及中部地區鄉鎮。北部鄉鎮為台北市周邊之市郊鄉鎮,包括台北縣之中和市、平溪鄉、永和市、石碇鄉、汐止市、坪林鄉、金山鄉、貢寮鄉、深坑鄉、新店市、瑞芳鎮、萬里鄉、雙溪鄉,宜蘭縣的壯圍鄉、頭城鎮、礁溪鄉,以及宜蘭市及基隆市七堵、中山、中正、仁愛、安樂、信義、暖暖等七個區,共計 24 個鄉鎮或區。中部鄉鎮則包括台中市的七個區,以及多個農

林鄉鎮包括台中縣大肚鄉、大里市、大雅鄉、太平市、石岡鄉、沙鹿鎮、烏日鄉；南投縣名間鄉、草屯鎮、集集鎮；雲林縣斗六市、斗南鎮、西螺鎮、林內鄉、蔴桐鄉；嘉義縣大林鎮；彰化縣二水鄉、大村鄉、北斗鎮、永靖鄉、田中鎮、田尾鄉、秀水鄉、社頭鄉、花壇鄉、員林鎮、埔心鄉、埤頭鄉、溪州鄉、溪湖鎮、彰化市等，共計 38 個鄉鎮區。

衛星影像資料係為購自國立中央大學之 Level 3 兩期多光譜 SPOT 衛星影像，地面解析度為 12.5m。兩期影像之日期與範圍分別如圖 1、圖 2。影像之拍攝日期視影像之有無與品質，儘量選取年底或翌年年初之影像，其中北部地區市郊鄉鎮兩期影像間隔約 12 年，屬於長期變遷；中部地區農林鄉鎮因九二一地震曾造成地貌大幅改變，因此選取災後之影像，兩期影像間隔 1 年，屬於短期變遷。

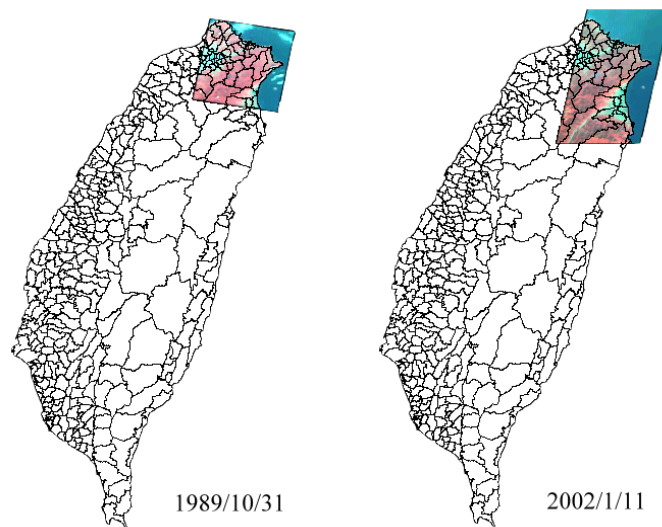


圖 1、北部地區市郊鄉鎮 SPOT 衛星影像日期與範圍

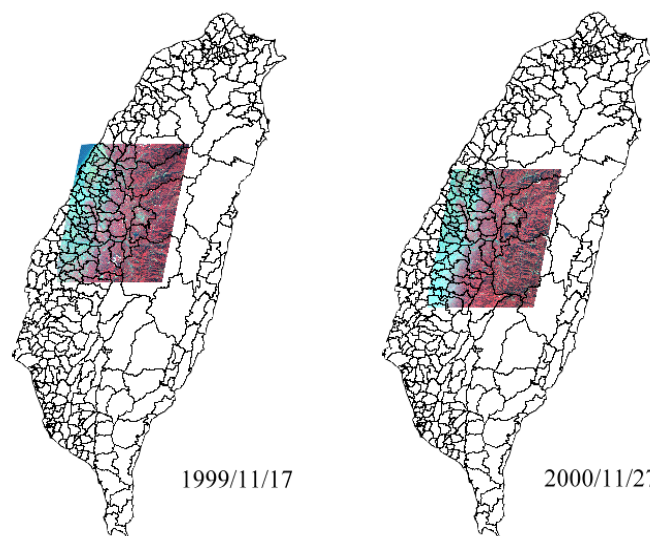


圖 2、中部地區農林鄉鎮 SPOT 衛星影像日期與範圍

## (二). 鄉鎮統計資料蒐集

統計資料蒐集係根據各縣市統計要覽，蒐集各縣市之鄉鎮層級的統計資料，包括土地、人口、農林、等資訊，其中土地資料包括土地面積、道路面積；人口資料則包括人口數、農戶人口數；農林資料包括耕地面積、水田面積、及早田面積。由於各鄉鎮面積大小不一，因此上述資料均除以該鄉鎮面積，以每平方公里公頃數、人數、戶數表示，以利比較分析。

## (三) 衛星影像植生狀況分析

研究範圍 4 幅 SPOT 影像分別利用其紅光(R)及近紅外光(NIR)波段計算其植生指標(NDVI)，其計算式如式[1]：

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \dots\dots\dots [1]$$

由於兩期影像拍攝情況並非一致，為便於比較兩期之 NDVI 差異，分別於影像選取兩期間無明顯變化的樣點進行迴歸分析，以後期影像為基準，調整前期影像之 NDVI 值。此外，並對照數值相片基本圖，設定 NDVI 門檻值，將衛星影像分類判釋為植生及非植生地區。接著，再以 GIS 鄉鎮圖層，分別計算研究範圍內各鄉鎮之平均 NDVI 以及鄉鎮之林、綠地覆蓋率。

## (四) 相關分析

以鄉鎮為單位，將統計資料與遙測判釋資料結合，以皮爾森相關係數計算鄉鎮各期平均 NDVI 及林、綠地覆蓋率兩項指標與統計資料之相關係數及統計顯著性。此外，為檢驗遙測影像變遷與統計資料變化的相關性，首先對兩期資料各個變數進行配對 t-檢定，檢驗鄉鎮平均 NDVI、林、綠地覆蓋率及各項統計資料在兩期之間有無顯著變遷，並計算兩者之間的相關性。皮爾森相關係數計算公式如式[2]，式中 x 與 y 分別為相關分析的兩個變數：

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots [2]$$

# 三、結果與討論

## (一) 單期資料相關分析

北部市郊鄉鎮及中部農林鄉鎮之單期鄉鎮平均 NDVI 及林、綠地覆蓋率兩項指標與統計資料之相關係數如表 1 及表 2。由表 1 及表 2 可以看出平均 NDVI 及林、綠地覆蓋率與許多統計資料有中到高的相關性，其中又以道路面積相關性最高，呈顯著的負相關，在北部市郊鄉鎮中，其相關係數甚至可達-0.9 以上。此外，和人口數、戶數等亦多呈顯著負向關係，而和林地面積則有正向相關。林、綠地覆蓋率與道路面積、人口密度之散佈圖舉例如圖 3。

表 1. 北部市郊鄉鎮單期相關係數

年度 變數	1989 年		2001 年	
	平均 NDVI	林、綠地率	平均 NDVI	林、綠地率
人口數(人/km <sup>2</sup> )	-.775**	-.788**	-.649**	-.698**
戶數(戶/km <sup>2</sup> )	-.292	-.206	-.642**	-.691**
農戶人口(人/km <sup>2</sup> )	-.207	-.201	-.665**	-.701**
農戶戶數(戶/km <sup>2</sup> )	-.022	.016	-.658**	-.692**
林地面積(ha/km <sup>2</sup> )	.744*	.796**	.722**	.837**
耕地面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.212	-.265	-.306	-.407*
水田面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.337	-.365	-.402	-.471*
旱田面積(ha/km <sup>2</sup> )	.070	.001	.244	.077
道路面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.981**	-.984**	-.873**	-.931**

\* : p<.05

\*\* : p<.01

表 2. 中部農林鄉鎮單期相關係數

年度 變數	1999 年		2000 年	
	平均 NDVI	林、綠地率	平均 NDVI	林、綠地率
人口數(人/km <sup>2</sup> )	-.591**	-.562**	-.461**	-.410*
戶數(戶/km <sup>2</sup> )	-.576**	-.548**	-.449**	-.398*
農戶人口(人/km <sup>2</sup> )	-.060	-.035	-.314	-.369
農戶戶數(戶/km <sup>2</sup> )	.019	.046	-.602*	-.561*
林地面積(ha/km <sup>2</sup> )	.482**	.426*	.659**	.681**
耕地面積(ha/km <sup>2</sup> )	.235	.173	-.306	-.407*
水田面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.273	-.316	-.269	-.352*
旱田面積(ha/km <sup>2</sup> )	.625**	.555**	.658**	.676**
道路面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.719**	-.691**	-.608**	-.560**

\* : p<.05

\*\* : p<.01

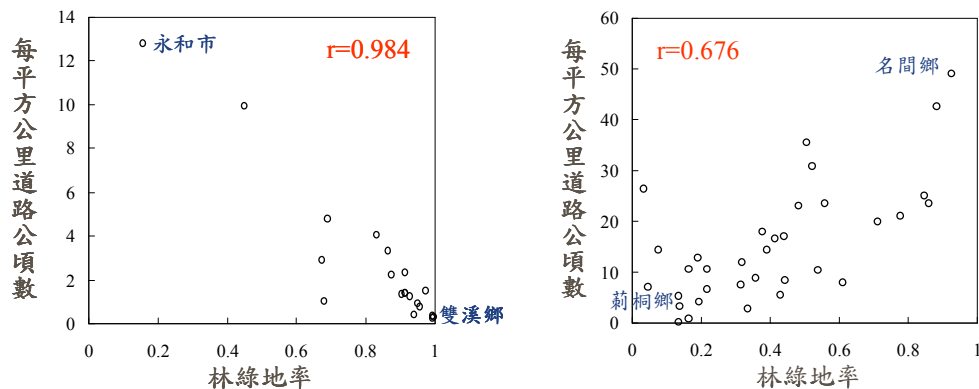


圖 3. 林、綠地率與統計資料關係示例(左：北部 1989 年；右：中部 2000 年)

(二) 兩期變遷分析

兩期變遷之配對 t-檢定結果如表 3，平均 NDVI 及林、綠地覆蓋率之差異值與統計資料之差異值之相關係數則如表 4。

由表 3 配對 t-檢定結果來看，北部市郊鄉鎮雖然有顯著差異，但就林、綠地率來看，差異卻未達顯著。儘管北部市郊鄉鎮兩期變遷相差 12 年，但鄉鎮統計資料中僅有戶數及耕地面積差異顯著。中部農林鄉鎮兩期變遷雖然僅 1 年，但是平均 NDVI 及林、綠地覆蓋率有極顯著差異，而鄉鎮統計資料之人口數及戶數亦有極顯著之差異。

表 3. 兩期變遷(後期－前期)之配對 t-檢定統計值

地區 變數	北部市郊鄉鎮		中部農林鄉鎮	
	差異值	t-值	差異值	t-值
平均 NDVI	-.085	-11.469**	-.035	-4.112**
林、綠地率	-.004	-.274	-.093	-3.926**
人口數(人/km <sup>2</sup> )	-114.202	-.444	47.940	2.921**
戶數(戶/km <sup>2</sup> )	249.827	2.928*	25.250	3.385**
農戶人口(人/km <sup>2</sup> )	5.323	.439	7.490	.294
農戶戶數(戶/km <sup>2</sup> )	2.054	.768	--	--
林地面積(ha/km <sup>2</sup> )	2.344	1.629	.102	1.784
耕地面積(ha/km <sup>2</sup> )	-9.778	-2.092*	-.223	-1.42
水田面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.871	-1.537	-.258	-1.264
旱田面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.152	-.557	.039	.239
道路面積(ha/km <sup>2</sup> )	1.076	1.955	.081	1.987

\* : p<.05

\*\* : p<.01

表 4. 兩期變遷之相關係數

地區 變數	北部市郊鄉鎮		中部農林鄉鎮	
	平均 NDVI	林、綠地率	平均 NDVI	林、綠地率
人口數(人/km <sup>2</sup> )	-.156	-.066	.334*	.329*
戶數(戶/km <sup>2</sup> )	.029	.316	.337*	.322*
農戶人口(人/km <sup>2</sup> )	.371	.058	.08	.041
農戶戶數(戶/km <sup>2</sup> )	.392	.044	--	--
林地面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.284	-.404	-.335*	-.262
耕地面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.448	-.290	.005	-.026
水田面積(ha/km <sup>2</sup> )	.254	.217	.162	.14
旱田面積(ha/km <sup>2</sup> )	-.124	-.081	-.224	-.225
道路面積(ha/km <sup>2</sup> )	.377	.171	-.027	.028

\* : p<.05

\*\* : p<.01

由表 4 來看，兩期變遷平均 NDVI 及林、綠地覆蓋率之差異值與統計資料差異值之相關係數均未達顯著，相關係數也普遍不高。在中部農林鄉鎮中，平均 NDVI 及林、綠地率之變遷則是與人口數、戶數及林地面積有較顯著的相關，但相關性也並不高。此外，由平均 NDVI 及林、綠地覆蓋率之差異值與統計資料差異值之散佈圖也可發現一些不合理的對應關係，例如以台中市南區為例，其每平方公里之戶數在兩期的統計資料有大量的增加，但其 NDVI 平均值卻並無明顯改變(圖 4 左)，又如集集鎮，根據兩期的統計資料，其林地面積有所增加，但在衛星影像上，其兩期間的林、地率卻呈現減少(圖 4 右)。

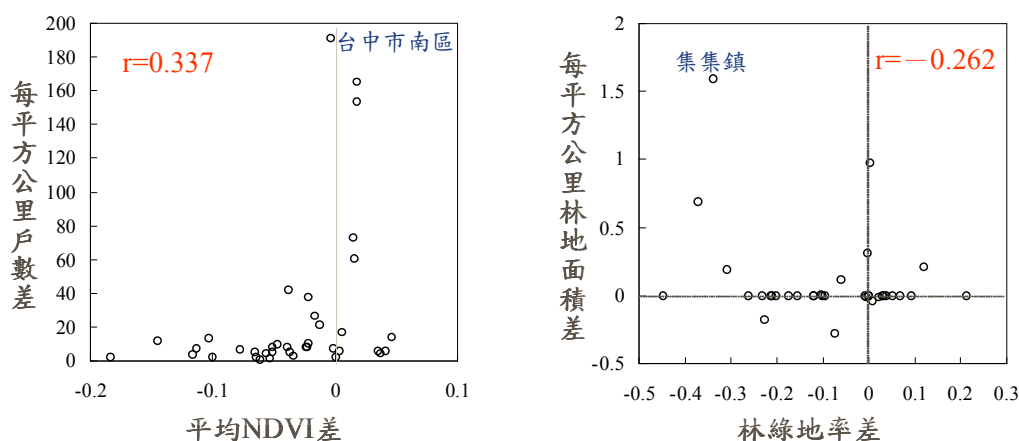


圖 4. 林、綠地變遷與統計資料變化係示例

#### 四、結論

由上述結果來看，鄉鎮平均 NDVI 及林、綠地覆蓋率的確與鄉鎮發展統計資料如道路面積率、人口密度與單位面積有很高的相關性。然而，即使鄉鎮發展統計資料人口變數有顯著的改變，平均 NDVI 及林、綠地覆蓋率的變遷與統計資料變化值得相關性並不高，甚至有相關係數符號相反的現象，例如在兩個研究地區之平均 NDVI 及林、綠地率之變遷均與林地面積率變化呈負相關，意味著林地面積率減少愈多，平均 NDVI 及林、綠地率增加愈多，與預期結果不符。推測其可能原因很多，有可能是兩期衛星影像經調整後仍有不一致的情形，農地在不同季節呈現的 NDVI 差異也可造成誤差，或者也有可能是統計資料的登載數據與現實不符。

因此，由本研所得知結果看來，以平均 NDVI 及林、綠地率來監測鄉鎮發展變遷仍有其限制，不過如果用於同期不同鄉鎮間之比較，則其效果會較好。不過從另一方面來看，國內目前利用鄉鎮統計資料來做為永續發展監測指標，似仍有不足之處。未來如果能以更多期、不同解析度、不同季節的遙測資料進行驗證，遙感探測應仍可補目前之不足。

#### 五、引用文獻

Grubb, M., M. Koch, A. Munson, F. Sullivan, K. Thomson. (1993) The Earth Summit



- Agreements: A Guide and Assessment, London: Earthscan.
- World Commission on Environment and Development, WECD. (1987) Our common future, Oxford: England: Oxford University Press.
- 李公哲 (1998) 永續指標，環境工程會刊，第 9 卷，第 4 期，頁 24-35。
- 李永展、何紀芳 (1998) 土地資源永續利用指標架構之建立-以中部地區為例，土地經濟年刊，第 9 期，73-102。
- 李永展、張曉婷 (1999) 都市永續性偵測工具之研究-以台中都會區永續發展指標為例，中大社會文學學報，第 8 期，155-188。
- 阮國棟、簡慧貞 (1995) 大都會區環境品質永續發展指標之建立架構，工業污染防制，第 14 卷，第 53 期，頁 33-48。
- 周天穎、王鈴津 (1995) 結合遙感探測與地理資訊系統於玉山國家公園土地覆蓋變遷之探討，遙感探測，22：1~16。
- 周朝富 (1986) 大地衛星資訊探測台北地區土地利用變遷之研究，國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 周朝富、鄭祈全 (1994) 航空照片掃描資料應用於林地變遷監測之研究，林業試驗所研究報告季刊，9(2)：87-115。
- 於幼華、張益誠 (1999) 永續發展指標，環境教育季刊，第 37 期，53-74。
- 張家祐 (1999) 高雄市都市發展指標之研究，中山大學公共事務管理研究所碩士論文。
- 陳文福 (1995) 以 Landsat-TM 及 SPOT 衛星影像監測高山地區土地利用變遷之研究，中華水土保持學報，26(3)：183~196。
- 陳冠榮 (1997) 台灣地區環境壓力指標建構之研究，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。
- 陳瑩真 (2003) 花蓮縣永續發展指標之研究—規劃評估觀點，國立台北大學公共行政暨政策學系碩士論文，263pp.
- 陳穎慧 (2002) 四生環境共生都市評估體系與綜合指標之研究，中國文化大學建築及都市計畫研究所碩士論文。
- 游靜秋 (1997) 台灣地區環境品質指標建構之研究，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。
- 黃書禮 (1996) 台北市都市永續發展指標與策略研擬之研究，中興大學都市計劃研究所，台北市政府都市發展局委託研究。
- 黃書禮、王俊秀、劉錦添、駱尚廉、李玲玲、蔡慧敏、施文真 (1993) 建立永續台灣評量指標系統實際應用之研究，全球變遷通訊，第 38 期，頁 1-10。
- 葉俊榮、柳中明、駱尚廉 (1997) 永續發展研究規劃工作計畫，國科會永續發展研究推動委員會。
- 鄒克萬、王曦芬 (1998) 一個都市永續發展監視評估支援系統之發展與應用，規劃學報，第 25 期，頁 25-50。
- 劉兆漢 (2003) 永續會整合型計畫「永續台灣的願景與策略」(NSC91-2621-Z-008-015)總結報告。
- 蔡美戀 (2002) 鄉鎮層級都市永續發展指標系統架構之研究，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文。
- 蔡慧敏 (2001) 地方永續發展指標的選擇：離島地區指標初探，永續台灣簡訊，第 3 卷，第 4 期，頁 31-52。

- 蔡勳雄、張隆盛、陳錦賜 (2001) 都市永續發展指標的建立，國家政策論壇，第一卷第六期，pp177-182。
- 鄭祈全、詹進發 (1986) 應用 SPOT 衛星資料監測人工林之研究，臺灣林業科學 11(3)：323-332。
- 蕭國鑫 (1988) 航照及衛星影像應用於台北盆地土地利用分類及變遷分析，航空測量及遙感探測，14：31~57。
- 蕭新煌 (2003) 地方永續元年，永續台灣簡訊，第 5 卷，第 4 期。
- 謝政勳 (2002) 都市永續發展指標適用性評估，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文。

## 六、計畫成果自評

本研究利用遙測影像判釋結果與永續發展相關之鄉鎮發展及土地利用統計資料進行相關性分析，研究結果顯示就單期、不同鄉鎮而言，遙測影像所判釋之植生資訊確實與鄉鎮發展及土地利用統計資料有很高的相關。但就兩期變遷而言，遙測影像可偵測出地貌變化，但統計資訊卻觀察不出對應的變化，顯示統計資料的更新和實際的地貌變化之間可能存在有落差，也凸顯利用遙測資料取代或輔助永續發展指標計算的必要性。不過，遙測影像之應用也有其限制，諸如季節因素、氣候因素、雲霧遮蔽、地形陰影等，都容易造成判釋誤差或錯誤，影響變遷偵測的可靠性。本研究限於經費及研究時程，僅能以 SPOT 衛星影像對鄉鎮層級統計資料進行探討，將來若能利用不同解析度影像分析國家及縣市層級的相關性，並探討判釋誤差的避免機制，則成果將更會為完整。