

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

應用衛星資料探討地表溫度

**Research the application of satellite data in LST**

研究生：周伯鴻

指導教授：史天元 博士

林唐煌 博士

中華民國一百零二年七月

應用衛星資料探討地表溫度

**Research the application of satellite data in LST**

研究生：周伯鴻 Student: Bo-Hung Jou

指導教授：史天元 Advisor: Dr. Tian-Yuan Shih

指導教授：林唐煌 Advisor: Dr. Tang-Huang Lin

國立交通大學土木工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fullfillment of the Requirements

for the degree of

Master

in

Civil Engineering

July 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零二年七月

# 應用衛星資料探討地表溫度

研究生：周伯鴻

指導教授：史天元、林唐煌

國立交通大學土木工程學系

## 中文摘要

隨著台灣的經濟與科技的發展，大台北地區的建設不斷地擴增，因而改變了周遭的環境，造成地表溫度的差異日益明顯，此即為典型都市發展之現象，原地表天然的植被漸漸的被人工鋪面所取代，地表溫度的分布亦隨之改變。為探討近地表熱環境的異常，本研究使用 2000 年至 2003 年 Landsat 的紅外頻道影像，首先針對北台灣地區所反演地表溫度分布的特性進行研究，其次為結合常態化差異植生指數(Normalised Difference Vegetation Index, NDVI)、常態化差異含水量指數(Normalised Difference Water Index, NDWI)、常態化差異建物指數(Normalised Difference Building Index, NDBI)等指數，分別以定性和定量的方式分析土地利用之空間分布情形，並探討不同覆蓋物與地表溫度分布間之相關性。另一方面，由於大屯火山群位於台灣北部地區，其所潛含的地熱能量亦將影響地表溫度之呈現。因此，除土地利用類型外，本研究亦將針對衛星紅外頻道資料在火山區地熱異常勘查的潛能及可行性進行探討，亦即藉由分析其在時間序列上的變化，針對不同季節間溫度差異，來找尋可能的地熱分布區。整體研究結果顯示，地表溫度與地物的含水量呈反比，與地物裸露地程度呈正比；同時，透過分析衛星反演地表溫度之相對變化，亦可呈現火山區域可能的分布位置。

關鍵詞：大台北地區、地表溫度、Landsat TM、土地利用、地熱、火山區域

# **Research the application of satellite data in LST**

**Student: Bo-Hung Jou**

**Advisor: Dr. Tian-Yuan Shih, Dr. Tang-Huang Lin**

**Department of Civil Engineering**

**National Chiao Tung University**

## **Abstract**

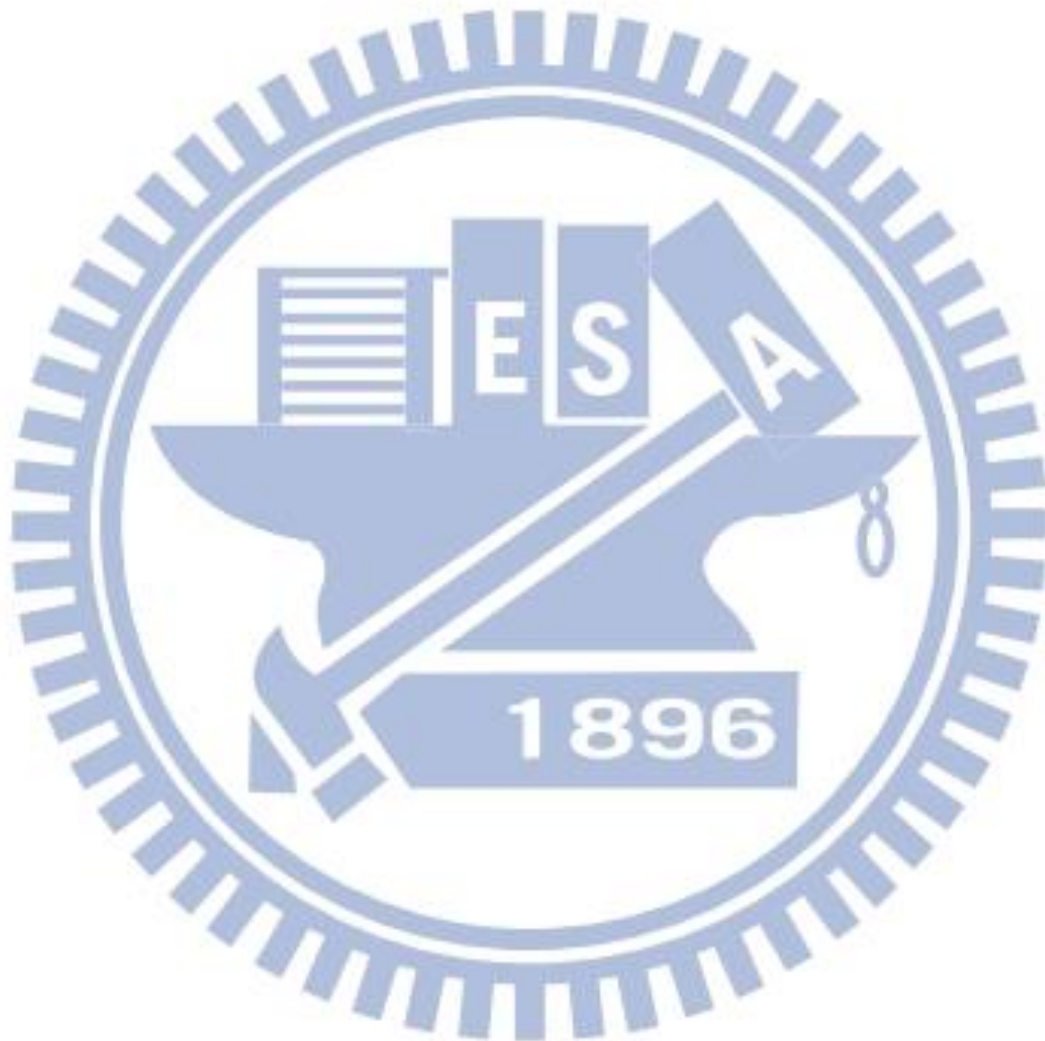
With the expanding and growth in both economy and technology of the greater metropolitan Taipei in the recent decades, the change of its surrounding environment, such as the land surface temperature contrast between day and night time, is getting obvious. The coverage of natural vegetation area is replaced by artificial pace, which is often seen in a developing city. It is expected that the land surface temperature distribution is no longer in similar patterns from past to current. To investigate the near-surface thermal phenomenon in association with environmental change, this study is proposed to utilize the infrared imagery from Landsat during 2000 to 2003. The characteristics of the retrieved land surface temperature (LST) from Landsat observation in the northern part of Taiwan are analysed. Those indices from NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), and NDBI (Normalized Difference Building Index) are examined for the correlation with land use qualitatively and quantitatively. The correlation between different land cover and LST is investigated as well.

On the other hand, the potential geothermal energy in conjunction with LST is discussed in this study due to Datun volcano is in the vicinity of metropolitan Taipei. Through the change in LST from time series analysis in four seasons, this study would like to identify the volcanic area from geothermal anomalies in Landsat infrared observation. The result suggests that LST is in a



negative correlation with soil moisture content, while LST has a positive correlation with the portion of bare soil. The spatial distribution of possible volcano location could be identified through the analysis of temporal change in Landsat LST.

**Keywords:** Greater Taipei Region, Landsat, Land Surface Temperature, Land Cover/Land Use, Geothermal Anomaly, Volcanic Area



## 致謝

兩年的碩士班的生活，心中深深的感謝在一路上曾經的幫助、教導與鼓勵我的每一個人，以及學校給予的一切資源，能夠讓我放心地進行論文的撰寫。

首先，感謝我的兩位指導教授林唐煌老師與史天元老師，特別感謝林唐煌老師在研究上給予我許多實用的建議，不論是在研究方向或是解決遇到的難題，都提供我最及時的協助與建議，讓我能更順利完成實做與寫作。感謝史天元老師在我這兩年交大的求學過程中，給予我無限的耐心與教導，不論是在專業的研究知識上，更讓我漸漸理解如何去撰寫一篇論文，必須抱持著努力不懈的精神。非常感激兩位指導教授在研究過程中給予的所有幫助與認真地指導，在我遇到困難的時候適時的給予幫助。

此外，要特別感謝我的口試委員，曾義星老師與蔡榮得老師於口試時，提出了許多寶貴且極為受用的建議，使我的研究能夠更臻完備，不論在內容的充實與格式的修改都更得心應手。

感謝暉尊學長在軟體使用上提供了許多建議，讓我在操作軟體上能夠更加得心應手，也感謝所有在交大的同學及學弟妹們陪伴我度過兩年的生活。最後，我想我要感謝我的爸爸媽媽讓我能無後顧之憂地唸研究所，有了你們的支持與肯定便是我繼續往上爬的動力，也因此我才有了繼續堅持下去的勇氣與力量。

# 目次

中文摘要.....	I
ABSTRACT .....	II
致謝.....	I
表目錄.....	IV
圖目錄.....	V
<b>第一章 緒論.....</b>	<b>1</b>
1.1 背景說明.....	1
1.2 研究動機.....	2
1.3 研究目的.....	2
<b>第二章 文獻回顧.....</b>	<b>4</b>
2.1 地表溫度反演.....	4
2.2 地物分類指數.....	5
2.3 大屯火山群地形.....	5
<b>第三章 研究方法.....</b>	<b>8</b>
3.1 輻射與能量概念.....	9
3.2 研究資料簡介.....	11
3.3 地面溫度反演.....	13
3.3.1 地理幾何對位與輻射參數標定.....	13

3.3.2 大氣校正模式 .....	14
3.3.3 輻射值轉換為地表溫度 .....	15
3.4 地形與陰影 .....	19
3.5 地物分類提取 .....	21
3.6 偵測火山錐 .....	25
<b>第四章結果與分析 .....</b>	<b>30</b>
4.1 台灣北部地區溫度分布圖 .....	30
4.2 實際測站溫度比較 .....	34
4.3 台灣北部地區 NDVI 分布圖 .....	37
4.4 水體與溫度趨勢圖 .....	40
4.5 裸露地與溫度趨勢圖 .....	44
4.6 大台北地區陰影資料與分析 .....	48
4.7 偵測火山錐位置 .....	53
<b>第五章 結論與建議 .....</b>	<b>58</b>
<b>參考文獻 .....</b>	<b>61</b>



# 表目錄

表 3-1、LANDSAT-7 衛星所使用的波段.....	12
表 3-2、LANDSAT 之 K1、K2 參數表.....	15
表 3-3、不同日期太陽高度角與方位角對照表.....	21
表 3-4、大氣頂部的平均太陽幅照度(徐，2007).....	23
表 3-5、太陽與地球距離(天文單位)(徐，2007).....	23
表 3-6、不同時間點所選取參考點位所對應的亮度溫度.....	29
表 4-1、不同日期平均地溫表.....	33
表 4-2、都市區與郊區平均溫度與差值(K).....	34
表 4-3、各影像所反演之地表溫度與實際測站溫度比較表(°C).....	35
表 4-4、反演溫度與測站溫度差值(°C).....	35
表 4-5、不同日期平均 NDVI 值.....	39
表 4-6、都市區與郊區平均 NDVI 與差值.....	40
表 4-7、各點位中心與四周溫度表(°C).....	57
表 5-1、LANDSAT-8 與 LANDSAT-7 波段差異對照表.....	60

# 圖目錄

圖 2-1、大屯火山區火山口示意圖 (楊, 2004) .....	6
圖 2-2、台灣北部地區火山錐體示意圖(楊, 2004).....	7
圖 3-1、研究流程圖 .....	8
圖 3-2、黑體示意圖(蔡, 2011) .....	9
圖 3-3、黑體於不同的溫度下所輻射出的能量頻譜(蔡, 2011).....	10
圖 3-4、LANDSAT 影像與研究試區示意圖 .....	12
圖 3-5、LST 反演的過程.....	13
圖 3-6、不同地物之光譜反射值變化圖(ERDAS FIELD GUIDE FIFTH EDITION, 1999).....	16
圖 3-7、植被選取區 .....	17
圖 3-8、植被選取區之像元分布 .....	17
圖 3-9、裸露地選取區 .....	18
圖 3-10、裸露地選取區之像元分布 .....	18
圖 3-11、太陽方位角示意圖 .....	19
圖 3-12、太陽高度角示意圖 .....	20
圖 3-13、SRTM 高程資料 .....	21
圖 3-14、選取區域示意圖 .....	22
圖 3-15、各波段於不同地物反應 .....	24
圖 3-16、不同(4 個)時期 NDVI 影像 .....	26
圖 3-17、選取溫度隨時間變化量較小之點位(紅點).....	26
圖 3-18、2001 年 2 月 18 日與基準點溫度差值 .....	27
圖 3-19、同圖 3-16, 但為 2001 年 12 月 3 日 .....	27
圖 3-20、同圖 3-16, 但為 2001 年 1 月 4 日 .....	28
圖 3-21、同圖 3-16, 但為 2002 年 8 月 24 日 .....	28
圖 3-22、同圖 3-16, 但為 2002 年 12 月 6 日 .....	29

圖 4-1、2001 年 2 月 18 日地表溫度分布圖(°C).....	30
圖 4-2、同圖 4-1，但為 2001 年 12 月 3 日 .....	31
圖 4-3、同圖 4-1，但為 2002 年 1 月 4 日 .....	31
圖 4-4、同圖 4-1，但為 2002 年 8 月 24 日 .....	31
圖 4-5、同圖 4-1，但為 2002 年 12 月 6 日 .....	32
圖 4-6、同圖 4-1，但為 2003 年 8 月 27 日 .....	32
圖 4-7、都市區與郊區選取區域示意圖 .....	33
圖 4-8、2001 年 2 月 18 日 NDVI 分布圖 .....	37
圖 4-9、同圖 4-8，但為 2001 年 12 月 3 日 .....	37
圖 4-10、同圖 4-8，但為 2002 年 1 月 4 日 .....	38
圖 4-11、同圖 4-8，但為 2002 年 8 月 24 日 .....	38
圖 4-12、同圖 4-8，但為 2002 年 12 月 6 日 .....	38
圖 4-13、同圖 4-8，但為 2003 年 8 月 27 日 .....	39
圖 4-14、水體選取區域.....	41
圖 4-15、2001 年 2 月 18 日水體與溫度趨勢圖 .....	42
圖 4-16、同圖 4-15，但為 2001 年 12 月 3 日 .....	42
圖 4-17、同圖 4-15，但為 2002 年 1 月 4 日 .....	43
圖 4-18、同圖 4-15，但為 2002 年 8 月 24 日 .....	43
圖 4-19、同圖 4-15，但為 2002 年 12 月 6 日 .....	44
圖 4-20、同圖 4-15，但為 2003 年 8 月 27 日 .....	44
圖 4-21、裸露地選取區域.....	45
圖 4-22、2001 年 2 月 18 日裸露地與溫度趨勢圖 .....	45
圖 4-23、同圖 4-22，但為 2001 年 12 月 3 日 .....	46
圖 4-24、同圖 4-22，但為 2002 年 1 月 4 日 .....	46
圖 4-25、同圖 4-22，但為 2002 年 8 月 24 日 .....	47
圖 4-26、同圖 4-22，但為 2002 年 12 月 6 日 .....	47

圖 4-27、同圖 4-22，但為 2003 年 8 月 27 日 .....	48
圖 4-28、溫度分布圖(K)用於與陰影影像比較 .....	48
圖 4-29、2001 年 2 月 18 日陽光照射率 .....	49
圖 4-30、同圖 4-29，但為 2001 年 12 月 3 日 .....	49
圖 4-31、同圖 4-29，但為 2002 年 1 月 4 日 .....	50
圖 4-32、同圖 4-29，但為 2002 年 8 月 24 日 .....	50
圖 4-33、同圖 4-29，但為 2002 年 12 月 6 日 .....	51
圖 4-34、同圖 4-29，但為 2003 年 8 月 27 日 .....	51
圖 4-35、陰影選取區 .....	52
圖 4-36、溫度與光照度散佈圖 .....	52
圖 4-37、2001/02/18~2002/08/24 差值 .....	53
圖 4-38、2001/12/03~2002/08/24 差值 .....	54
圖 4-39、2002/01/04~2002/08/24 差值 .....	54
圖 4-40、2002/12/06~2002/08/24 差值 .....	55
圖 4-41、冬夏溫差較小區塊(紅色)分布圖 .....	56
圖 4-42、四區域對應至地表溫度示意圖 .....	56



# 第一章 緒論

地表溫度與人類的生活環境息息相關，由於都市的快速發展，使得城市用地快速增加，且植被區快速減少，都會地區之熱環境因而改變。此外，在台灣北部地區還有大屯火山群的分布，大屯火山區位在環太平洋地震帶之上，而且其恰好緊鄰工商業發達的大台北都會區，雖然已經幾萬年未噴發，仍然有地熱與溫泉的存在，亦將影響周遭的熱環境。本研究期望能藉由熱紅外衛星影像來反演地表溫度，並結合遙測影像所觀測的正規化指數與地表覆蓋分析各區溫度差異的原因與規律。

## 1.1 背景說明

大台北地區為台灣之首席都會區，範圍涵蓋首都台北市、新北市及基隆市 3 個行政區，大量的人口集中在台北盆地區。其中台北中心位置約在北緯 25 度、東經 121 度，台北都會區的人口達六百九十萬人，總面積為兩百三十萬平方公里。

大屯火山地熱區的主要地熱帶有幾處，包含了噴氣孔及溫泉等等，火山共約二十座，可分為八個火山亞群，包含了大屯山、竹子山、七星山、燒稜寮、內寮山、磺嘴山、南勢山以及丁火朽山雅群等等。本研究區域大致位於台灣北部，位於並聚焦於台北盆地之東北群山地區。大屯火山群位於台灣北端，其分布範圍主要分佈於金山斷層與崁腳斷層之間的區域內，西南面則以淡水河為界，北臨台灣海峽，涵蓋面積大約 250 平方公里，四周並被基隆火山群、觀音山、龜山島等火山體所包圍，因此火山的噴氣將會對周遭地區有影響。由於大多數的噴氣孔、溫泉與熱液換質帶的分布皆與構造線關係密切，因此大屯火山區的溫泉的分布多集中在崁腳斷層與金山斷層間，長 18km 寬 3km、呈東北—西南走向的區域內。大屯山群的地層主要由新式安山岩質火山熔岩流所構成，至今雖已歷經數萬年未曾有火山的活動，但部分火山區尚有地熱與溫泉的存在且火山地形完整，仍存在可能噴發的威脅，如能藉由衛星觀測近即時地提供火山錐之動態，將有助於災害之預警及環境之永續。

## 1.2 研究動機

地表溫度於能量收支平衡、全球暖化、環境與氣候變遷等相關研究上是一相當重要的參數，因此許多的關於反演地表溫度及發射率的研究報告被提出，若能準確的反演出地表溫度，對於從事環境的熱研究必定能有相當程度的助益。此外，熱島效應在大城市地區的發生對區域環境及生態系統無疑是一負面的影響，不同地物覆蓋皆會對於地表溫度分部有影響，人口集中的都市區域充滿著人工建物及裸露地，造成周遭溫度快速的提升。

台灣位置處於北迴歸線上，地理位置兼具了熱帶與亞熱帶的氣候，尤其在高度發展的大台北地區，有著大屯火山群的分布，位於環太平洋地震帶上且緊鄰人口稠密且為工業商業金融中心的大台北都會區，因此大屯火山的火洞與否將會對於台北地區生活的民眾成了不定時的威脅，雖然近十萬年來沒有再有火山的噴發活動，但種種情況顯示大屯火山群下方的岩漿禱或熱源供應未見有消滅的跡象。因此期望除了能夠找到火山大略位置，並深入探討地表溫度與各種不同地物之間的互動關係與變化趨勢，以對地表溫度的各種資訊做更深入的了解，對於大台北地區的環境永續是相當重要。

## 1.3 研究目的

由於過去的研究多以現場探勘與測站觀測的方式，雖然能夠較為精準，但在固定區域中的研究儀器畢竟有限，不適合於大範圍區域的觀測。近來由於遙測技術上的快速發展，且其時間與空間解析度亦大為提升，可在短時間內獲得大面積且連續之資訊，相較於其他人工地面觀測，取得資料的費用亦較低，為一相當有效的觀測方式。

地表溫度在大氣與地表的物質與能量地交換、植被生態或以及氣候變化等方面皆為重要的因子之一，利用熱紅外遙測影像能在短時間內獲得大範圍地表溫度及溫度場的空間分布資訊，與傳統觀測方式相比有著快速便捷、觀測範圍大宇資訊連續等優點，因此利用熱紅外影像資料反演地表溫度的應用日趨廣泛，亦為本文的研究重點。因此，本研究將應用 Landsat 衛星熱紅外波段之觀測資料，並加入大氣與地表不同地物之發射率來反演地表溫度之分布，

再藉由不同波段間的頻道差異來獲得各種不同地物的指數，如 NDVI、NDWI、NDBI 等指數，探討不同覆蓋物與地表溫度分布間之相關性。此外，本研究亦將針對衛星紅外頻道資料在火山區地熱異常勘查的潛能及可行性進行探討。

本研究首先在緒論中討論為何就此區域做研究之地域背景，並說明研究動機與目的以及研究區域之大略範圍。接下來的文獻回顧包含了對於所需理論之理解與前人所做的研究進行整理，主要是探討地表溫度與各種地物之效應，並瞭解過去學者所做的方法及方向，分析不同地物因子與溫度間的關係，最後則將利用時間序列影像期望找出火山活動的位置，以提供相關研究之應用。





## 第二章 文獻回顧

本文為探究地表溫度與各種因子之間的相互關係，文獻的回顧包含地表溫度反演方法的探討、地物分類的方法以及大屯火山群地形分布等相關研究，簡述如下。

### 2.1 地表溫度反演

在衛星遙測方面以分裂視窗法最為常見，其主要原理是根據波段相近的紅外線窗區的頻道來修正大氣中水氣吸收的影響，以獲得準確的地表溫度，因此許多具有紅外頻道的衛星觀測資料將可被大量地使用，如 NOAA AVHRR。但因 AVHRR 的衛星資料的空間解析度為 1.1 公里，較適用於大範圍的研究試區，如 Becker and Li(1990)根據輻射傳送之模擬，建立地表溫度與地表發射率及亮度溫度之間的關係式，並應用於 AVHRR 之衛星觀測資料在全球地表溫度之反演，得到相當不錯的結果。而近年來 Aster 與 Landsat 影像紛紛受到了國際學者的關注，因為有著較高的空間解析度(公尺級)，可針對局部地區進行熱環境的相關研究與應用。

To, et al. (2011)的研究指出，由於夜間未受太陽輻射的影響，地面上顯示出的熱能即為都市地區人為所產生出來的熱能，對於都市輪廓的劃分更加明朗。

Coolbaugh, et al. (2007)提到美國內華達州的布拉迪溫泉區等與地熱活動相關的表面溫度異常，可以進一步利用熱紅外衛星影像數據來呈現，為了使地熱的貢獻能在影像中合理地顯現出來，晝夜影像間的前期處理是必要的。此外，並利用數值高程模型(DEM)，來針對地形的影像作糾正，從而正確的分辨是否為地形影響或是地熱異常所造成之溫度變化。Griend and Owe (1993)利用地面觀測儀器的量測資料，成功地建立地表發射率與植被指數之間的關係(其相關係數高達 0.94)，並應用於 Landsat 衛星資料估算地表的發射率，獲得了相當合理的結果，更證實了地表發射率與植被指數之間有極高之相關性。Mao et al. (2005)為簡化的物發射特性的複雜度，則是假設 MODIS 衛星資料的範圍內，僅包含著水體、植物與土壤三種地表物，並透過模式模擬的方式得到各種不同地物之發射率，可得與 MODIS 產品相當接近之地表溫度。Bhattacharya and Dadhwal (2003)曾經針對不同地表覆蓋物之種類對於地表溫度反演所產生的誤差進行探討，結果最後顯示了植被指數的變化確實會影響地表發射率的計算。



## 2.2 地物分類指數

土地利用的分類是監測一地區資源環境動態變化上相當普遍且有效的方式，早期台灣以飛機作為平台取得地面實景製作的分類地圖，或是至各地踏勘繪製土地使用狀況，但其所得資料範圍較小、所花費的時間與金錢也較多。現今由於科技的進步地表分類的工作已可藉由衛星觀測技術來完成。

易等人(2008)即以重慶市都會區作為研究的對象，他利用了 1988 年、2001 年、2006 年 3 個不同時期的衛星影像來進行地表溫度的反演與土地不同覆蓋的分類，嘗試著使用定量的方法來研究溫度與幾種地物指數之間的關係，其中包括了常態化的植被指數(NDVI)、常態化的水體指數(NDWI)與常態化的城市用地指數(NDBI)。

利用 NDVI、NDWI 及 NDBI 指數可代表土地覆蓋最重要的幾種型態，如植被地區、都會區以及水體等地物，因此針對於不同指數與溫度之間的關係，變成了人們所關注的焦點。不過雖然如此目前大部分國外的研究仍舊都集中在平原地區的城市熱島效應，反而較少涉及丘陵山區或不同土地覆蓋上面變化之關係。雖然這些指數可以用來進行不同地物的分類，但在不同影像上則很難利用單一門檻值來獲得準確的土地利用，為了解決此一問題，許多研究便加入了分析各種不同土地利用類型的光譜特徵。利用遙測影像上所獲取的各式各樣的指數可用於定性與定量分析地表的情況，如 NDVI 指數被用來估計作物產量以及半乾旱地區的降雨量分布情形，而 NDWI 可測定植被的含水量或地表上有水體的位置，NDBI 的指數來辨別研究區域的城市建設用地及裸露地區。Lo (2003)曾在美國亞特蘭大地區探討地表覆蓋物分布與地表溫度的關係，並計算各地物所占面積的比例，最後將都市化情況與人類健康方面做結合。

## 2.3 大屯火山群地形

根據楊 (2004)與陳 (2007)利用 3D 的數值模擬地形並配合判釋大屯山地區之火山地形研

究結果指出，由於不同的火山地形會隨著觀察者的角度與光源而呈現不同的形貌，透過數值地形資料搭配坡度分析，可同時展現地貌的外型、高程及坡度的變化，並繪製高程橫剖面圖，提供觀察者研判地貌的變化與辨認火山特徵。一般來說火山的地形皆以火山口為噴發中心，具有圓錐狀的外型，而使熔岩流向外圍散佈如圖 2-1 所示。其研究可分辨出十個火山口、二十九個火山錐體、四十幾道舌狀熔岩流以及二百多條位於熔岩平台上的平行狀弧形脊，如圖 2-2 所示。根據地形模擬配合坡度的分析有辨識出了 29 個火山錐體：1. 丁火朽山；2. 八斗山 1；3. 八斗山 2；4. 桤寮湖山；5. 礮嘴山；6. 八煙山；7. 冬瓜山；8. 鹿寮坪莊山；9. 大尖山；10. 內寮山；11. 七股山；12. 七星山；13. 紗帽山；14. 白雲山；15. 小草山；16. 鵝米山；17. 嵩山 1；18. 嵩山 2；19. 竹子山；20. 小觀音山；21. 菜公坑山；22. 大屯山；23. 烘爐山；24. 二子山；25. 面天山；26. 向天山；27. 南大屯山；28. 觀音山；29. 萬年塔。



圖 2-1、大屯火山區火山口示意圖 (楊，2004)

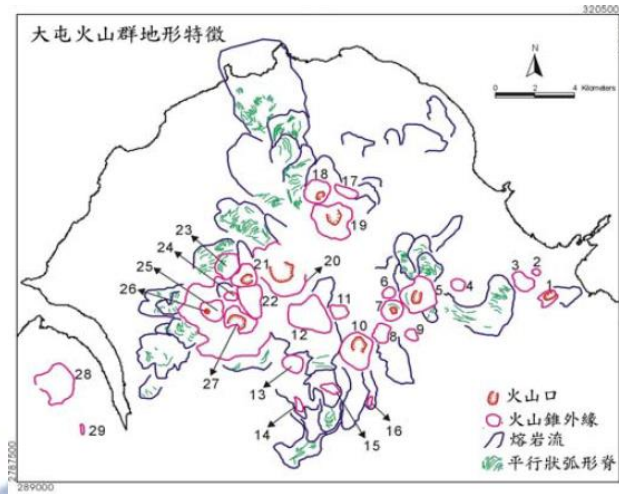


圖 2-2、台灣北部地區火山錐體示意圖(楊，2004)



### 第三章 研究方法

由於原始衛星資料型態為灰階值(Digital Number，簡稱 DN 值)，須先將 DN 值轉為光譜輻射值，其中熱紅外波段可由光譜輻射值轉換為溫度訊息，亦即亮度溫度，而可見光波段則可轉換為光譜反射輻射值或反射率。本研究除使用紅外波段反演地表溫度外，亦計算 Landsat 可見光波段的反射率，並應用於不同地物分類指數之估算，期能探討不同地物指數與地表溫度之關係，主要流程如圖 3-1 所示。

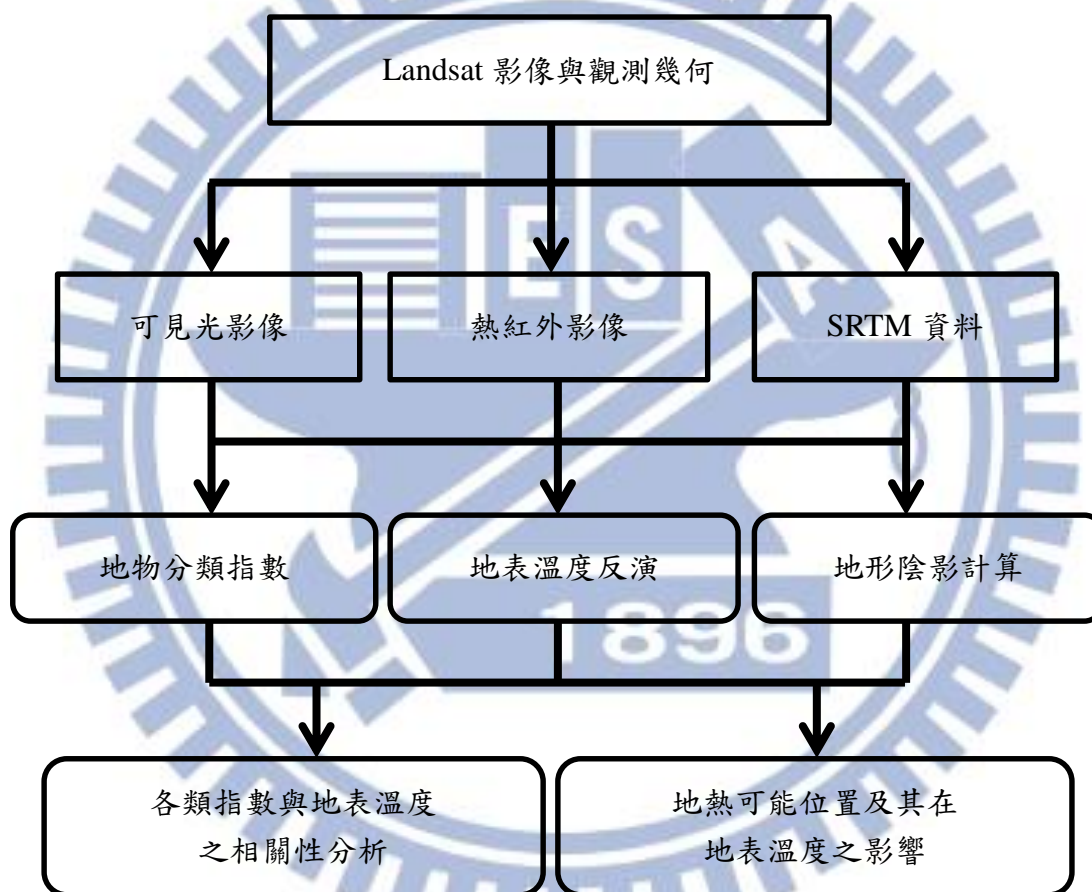


圖 3-1、研究流程圖



### 3.1 輻射與能量概念

在二十世紀以前的物理學家認為物理學的發展已近完全，但對於黑體輻射仍有未理解之處，在解決了此問題後帶領科學進入嶄新的領域，得以繼續探索物理學的奧妙。在 1859 年，德國物理學家 Kirchhoff 提出輻射定律 (law of radiation)，指出物體在已知溫度下，對輻射能量之放射率或吸收率與物體表面之性質有關，如黑色物質對輻射能具有較強的吸收能力。因此設定黑體為一個理想的熱輻射吸收體，能夠完全的吸收外來的輻射而不反射。在實際的黑體輻射的模擬中，假設在一個中空的密封物體之器壁上鑿穿一小洞，此物體可稱之為黑體，如圖 3-2。電磁波在器壁上經過了多次反射後，幾乎被大量吸收而甚少溢出，此行為極為非常接近黑體的性質，因此可將此小孔中所放射出的輻射視為黑體輻射。

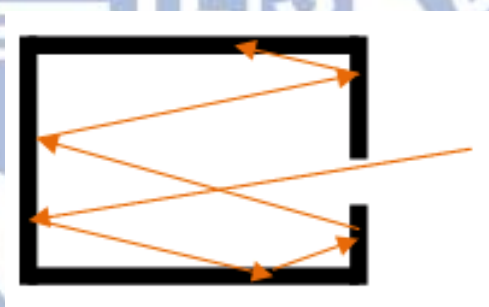


圖 3-2、黑體示意圖(蔡，2011)

1896 年 Wien 提出由熱力學的觀點來解釋黑體輻射的波長，但此觀點在波長較長的波段會有些許偏差。1900 年 Rayleigh 與 Jeansy 根據古典電動力學和統計物理理論，提出了另一黑體輻射理論，但此理論僅適用於長波波段(如微波頻道)。一直到了 1900 年的 12 月才由普朗克提出，利用熱力學的觀點來找出完全符合黑體輻射之實驗數據，他認為在空腔內部每一個電荷的震動都是由振子所組成，而此振子為不連續的量，即表示無法取得能量的任意值，只能取得能量最小單位的整數倍，此為能量量子化。假設此振子的頻率為  $\mu$ ，則此振子之能量為  $\varepsilon = h\mu$ ，其中  $\varepsilon$  為能量， $h$  為普朗克常數量。假設振子的能量為最小能量的整數倍，則能量可表示為  $\varepsilon = nh\mu$ ，其中的  $n$  為正整數，稱之為量子數。普朗克根據此量子的假設和理論，推導出完全吻合黑體輻射實驗之理論公式，亦推導出普朗克常數為  $h = 6.55 \times 10^{-34} Js$ ，其與目

前公認  $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ Js}$  僅差了 1%，算是相當準確。

輻射是藉由電磁波所傳遞的能量，電磁波可以經由真空傳遞不需任何介質。其中電磁波譜依其特性可劃分為若干波段，依波長順序依序為 Gamma 射線、X 射線、紫外光、可見光、紅外線與無線電波。黑體為一種最為理想的物體或狀況，在自然界中大多數的固體或異體都為接近黑體之灰體，只要非絕對零度以上的物體便會發射輻射的能量，其中高溫物體幾乎在每個波段都會發射輻射的能量，其每一曲線之峰值也會因為溫度的不同而改變。地表物反射太陽輻射，而太陽輻射大多來自於太陽表面光球的部分，其能量  $E_\lambda$  隨著波長規律的變化，可用普朗克定律描述之如方程式(1)。

$$E_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5 (\exp(\frac{c_2}{\lambda T}) - 1)} \quad (1)$$

式中  $C_1 = 3.74 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2$ ， $C_2 = 1.44 \times 10^{-2} \text{ Mk}$ ， $\lambda$  為平均波長(m)， $T$  為溫度(K)。

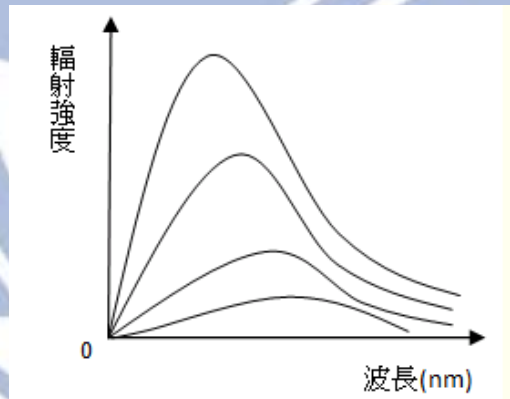


圖 3-3、黑體於不同的溫度下所輻射出的能量頻譜(蔡，2011)

在一定的溫度下，黑體的輻射存在一個極值，由圖 3-3 可看出，黑體輻射的總量(曲線下的面積)隨著溫度的增加而迅速增加，表示黑體溫度、輻射波長與能量之間的相互關係。此極值的位置(波長)與溫度有關，可以維恩位移定律來描述，如方程式(2)，當溫度越高時，其  $\lambda_{max}$  越短，如太陽溫度為 5800K 時，其  $\lambda_{max} = 0.5 \mu\text{m}$ ，地球溫度為 289K 時， $\lambda_{max}$  約等於  $10 \mu\text{m}$ 。

$$\lambda_{max} = \frac{2897}{T} \quad (2)$$

## 3.2 研究資料簡介

本研究主要使用 Landsat 衛星影像，Landsat-7 掃瞄覆蓋地面每一像幅(Scene)約為 185 公里×170 公里，掃瞄一個像幅約費時 26.31 秒，在赤道附近相鄰兩張影像重疊量為 7.3%，越往兩極重疊區域愈多，在台灣地區重疊約 14%。Landsat-7 其影像拍攝方式是以垂直飛行方向透過鏡子旋轉進行來回掃瞄之觀測方式，稱為 Whisk-broom 感測器。本研究在 Landsat-7 衛星影像資料是由美國地質調查局(United States Geological Survey，簡稱 USGS)所提供。Landsat-7 ETM+一共包含了 8 個波段，其中波段 1~3(可見光)與波段 4,5,7(近紅外)之空間解析度為 30 公尺，波段 8 為全光譜波段，具有 15 公尺之空間解析度，而本文所使用的波段 6 為熱紅外頻道，空間解析度則為 60 公尺。Landsat-7 ETM+之波譜資料如表 3-1 所列，而衛星影像涵蓋位置如圖 3-4 所示。本研究在地表溫度的反演是使用熱紅外波段，即為 Landsat 衛星的第 6 波段，其軌道編號為 PATH = 117，ROW = 043，所使用的影像包括：

冬天影像：

LANDSAT ETM+ 2001-02-18

LANDSAT ETM+ 2001-12-03

LANDSAT ETM+ 2002-01-04

LANDSAT ETM+ 2002-12-06

夏天影像：

LANDSAT TM 2002-08-24

LANDSAT TM 2003-08-27



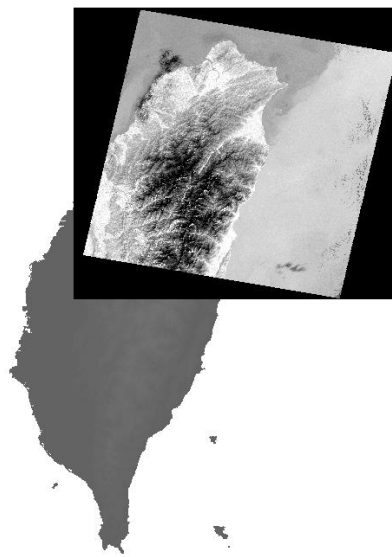


圖 3-4、Landsat 影像與研究試區示意圖

表 3-1、Landsat-7 衛星所使用的波段

Band No.	Half-Amplitude Bandwidth( $\mu\text{m}$ )	Sub-satellite Ground Resolution(m)
1	0.450~0.515	30
2	0.525~0.605	30
3	0.630~0.690	30
4	0.775~0.900	30
5	1.550~1.750	30
6	10.40~12.50	60
7	2.090~2.350	30



### 3.3 地面溫度反演

Landsat 衛星之熱紅外影像為熱研究中應用最多之遙測影像之一，可提供區域性地表熱輻射及溫度等相關訊息。大多數的衛星影像是利用灰階值(DN 值)來表示影像上的明亮程度，其值由 0 到 255，當值越大的時候表示接收的地表輻射能量越大，反之若是其數值越小表示接收的地表輻射能量較少。本研究將根據 Weng (2004)提出之熱紅外光影像數據推算出亮溫，首先將 DN 值轉化為相對應之熱輻射強度，再根據熱輻射強度推算其所對應的亮度溫度。而在將亮溫轉換為地表溫度的過程中，需考慮到大氣的改正與不同地表物之地表發射率，才能反演正確的地表溫度，其過程圖如圖 3-5 所示。

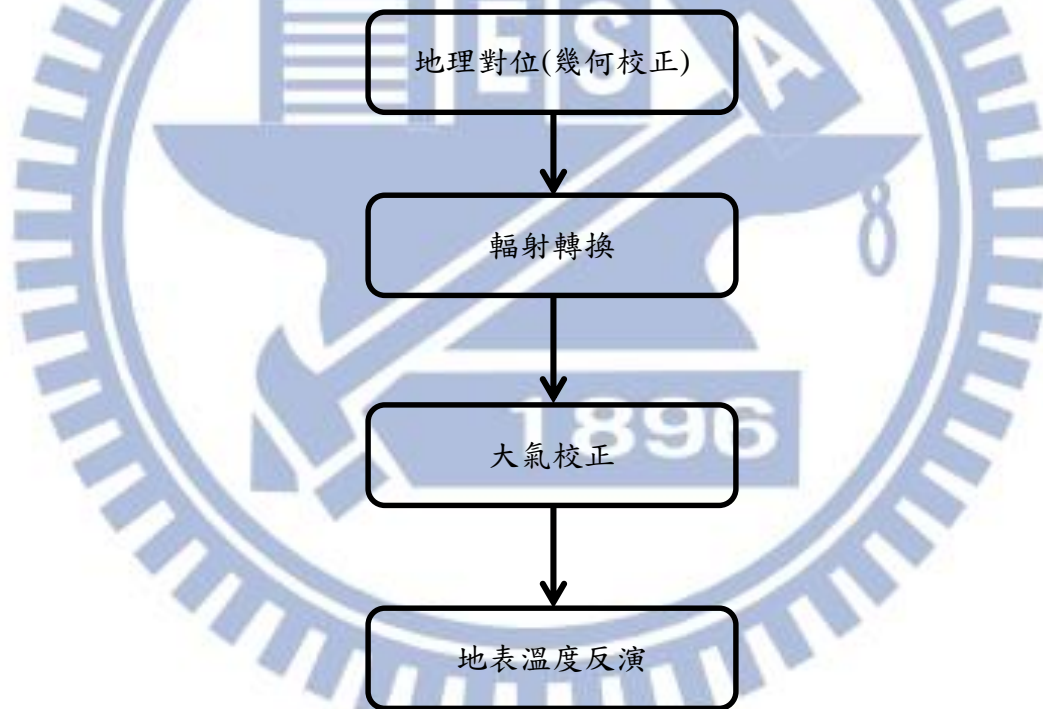


圖 3-5、LST 反演的過程

#### 3.3.1 地理幾何對位與輻射參數標定

本研究使用 ENVI 4.5 (ITT, 2008)以 UTM 投影，WGS84 基準，進行地理對位。Landsat 衛星影像輻射標定方程式如方程式(3)。

$$CV_{R1} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (3)$$

其中  $CV_{R1}$  為標定後之輻射值， $QCAL$  為原始輻射值，其餘參數在各張對應 Landsat 影像的詮釋資料中皆有提供，其各值如下：

$$LMAX_{\lambda} = RADIANCE\_MAXIMUM\_BAND\_6\_VCID\_1 = 17.040$$

$$LMIN_{\lambda} = RADIANCE\_MINIMUM\_BAND\_6\_VCID\_1 = 0.000$$

$$QCALMAX = QUANTIZE\_CAL\_MAX\_BAND\_6\_VCID\_1 = 255$$

$$QCALMIN = QUANTIZE\_CAL\_MIN\_BAND\_6\_VCID\_1 = 0$$

### 3.3.2 大氣校正模式

衛星的感測器所觀測到的總輻射強度，不僅有來自地表的輻射，而且還有來自大氣的向上向下的路徑輻射，這些輻射在穿過大氣層到達感測器的過程中，還受到了大氣層的吸收影響而削弱(Coll, 2010)，其輻射傳輸方程可以方程式(4)來表示(Grant, 2006)，其中  $I^{\uparrow}$  觀測得到之輻射強度， $B(T_s)$  為溫度在  $T_s$  時的黑體在熱紅外波段之輻射亮度，其中  $I^{\uparrow}$  為觀測得之輻射強度， $B(T_s)$  為普朗克輻射量， $\varepsilon$  為地表發射率， $L_u$  與  $L_d$  分別為上行輻射與下行輻射， $T^*$  為大氣穿透率。

$$I^{\uparrow} = (\varepsilon \times B(T_s) + (1 - \varepsilon) \times L_d) \times T^* + L_u \quad (4)$$

由地球表面反射或發射的輻射經過大氣層的時候，受到了大氣的散射及吸收的衰減，最後才進入衛星的感測器，因此對於大氣的校正是有必要的。美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration，簡稱 NASA)針對輻射傳送方程式(4)提供不同經緯度及日期時間所對應的各項參數(Barsi, 2003)，在代換對應的參數後可得方程式(5)，整理後可得方程式(6)。

$$CV_{R1} = (\varepsilon \times CV_{R2} + (1 - \varepsilon) \times L_d) \times \tau + L_u \quad (5)$$

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - Lu}{\varepsilon\tau} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \times Ld \quad (6)$$

其中 $CV_{R1}$ 為衛星觀測之輻射總量， $CV_{R2}$ 為經過大氣校正之後的輻射值， $Lu$ 為向上輻射值， $Ld$ 為下行輻射值， $\varepsilon$ 為地表發射率(後續將以NDVI值來推算各個像元的地表發射率)， $\tau$ 為大氣穿透率。上面所列之 $Lu$ 、 $Ld$ 與 $\tau$ 皆可由NASA所提供。

### 3.3.3 輻射值轉換為地表溫度

根據普朗克方程式可推算求得亮度溫度(Brightness Temperature； $T_b$ )公式如方程式(7)，式中之 $T_b$ 即為Landsat ETM+影像所觀測之亮度溫度( $^{\circ}C$ )， $K1$ 和 $K2$ 為衛星發射前預設的常量，各參數如表3-2。

$$T_b = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{CV_{R2}} + 1\right)} \quad (7)$$

表 3-2、Landsat 之  $K1$ 、 $K2$  參數表

	Landsat TM	Landsat ETM
K1	607.76	666.09
K2	1260.56	1282.71

人類的眼睛可以看見物體以及能夠擁有分辨顏色的能力，主要是因為有光線照射到物體表面經過反射後進入人眼，再經由視覺系統來判斷物體的形狀與大小等，而大自然中最主要的可見光光源則是太陽。

各種物體都有反射光譜的能力且為波長的函數，可藉由此種特性，來辨別不同的地表物。因植物葉子含有葉綠體，使植物葉子呈現為綠色，在太陽輻射照射下，將光譜中屬綠光波段阻擋並予以反射，而吸收藍光及紅光波段，而因綠色植物吸收藍光及紅光以行光合作用累積生物量。此外綠葉具有強烈反射紅外光之特性，因此計算NDVI所需之紅光及紅外光，常被用來測定森林生態系之生產力。不同波段對於不同地表物的反射特性亦有所差異，如圖3-6



所示即為土壤與植物在各波段反射特性之差異。

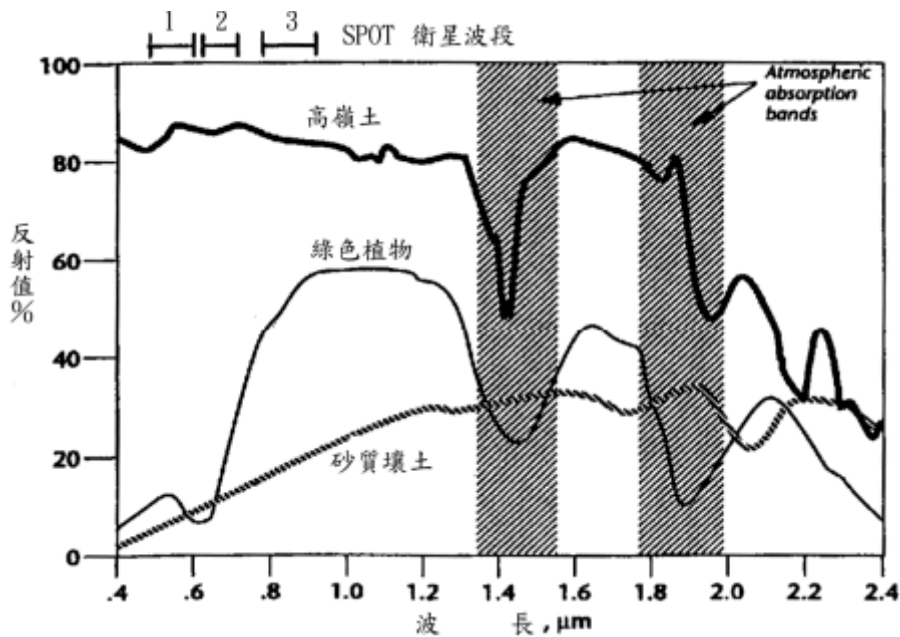


圖 3- 6、不同地物之光譜反射值變化圖(ERDAS Field Guide Fifth Edition，1999)

圖3- 6中紅光波段(約0.61~0.69 $\mu\text{m}$ )由於葉綠素吸收特性強烈，因此綠色植被區有較低的反射量，而在近紅外光波段(約0.79~0.90 $\mu\text{m}$ )葉綠素具較高的反射特性，植被區在此波段因此呈現較高的反射值。因此，在進行植生綠度探測中，通常利用植物光譜的近紅外光與可見光兩個最典型的波段值來進行分析。經由許多研究歸納，如陳(2002)，使用可見光的紅光與近紅外光的比值，即可定義為常態化差異植被指數(NDVI)，可以用作監測植被地區的變化，其NDVI的定義則如方程式(8)。

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR}-\text{R}}{\text{NIR}+\text{R}} \quad (8)$$

其中，NDVI：常態化差異植被指數

NIR：近紅外頻道的反射率

R：紅光頻道的反射率

由方程式(8)可以發現，利用利用(NIR-R)即能偵測植物生長量之特性，但將其式子再除以(NIR + R)之目的在於使其正規化，正規化的用途是防止除以零的數值誤差，並使比值能限



於 +1與-1之間以方便做比較。在求得NDVI值之後，可以得到在影像上各個地區的植被分布情形以及植被所佔的比例，其計算方法如方程式(9)。

$$P_v = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (9)$$

$NDVI_{max}$ 為一門檻值，當一像元NDVI值大於 $NDVI_{max}$ 時便確定為植被區，反之 $NDVI_{min}$ 亦為一門檻值，像元NDVI值小於 $NDVI_{min}$ 時，將該地區設定為裸露地，將原始NDVI影像像元值大於0.5直接設為1，表示其植被覆蓋率為100%，小於0.05直接設為0表示其被覆蓋率為0， $P_v$ 即表示該地區植被的比例。此門檻值的決定則是利用影像上所選取完全植被區與完全裸露地區，如圖3-7與圖3-9，配合其像元分布特性所獲得，如圖3-8與圖3-10。

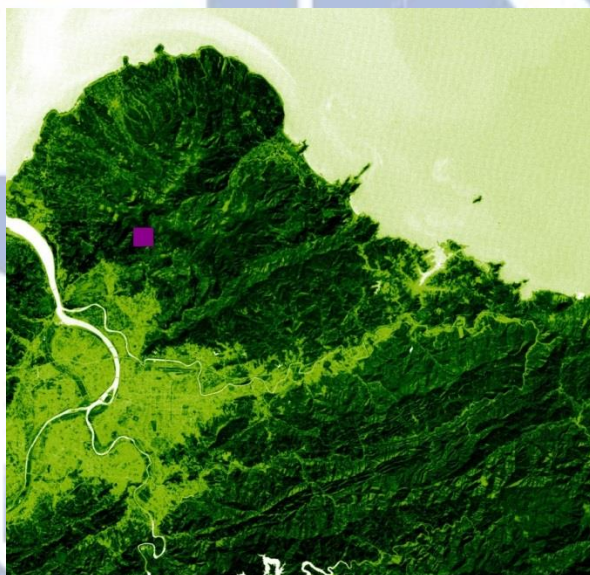


圖 3- 7、植被選取區

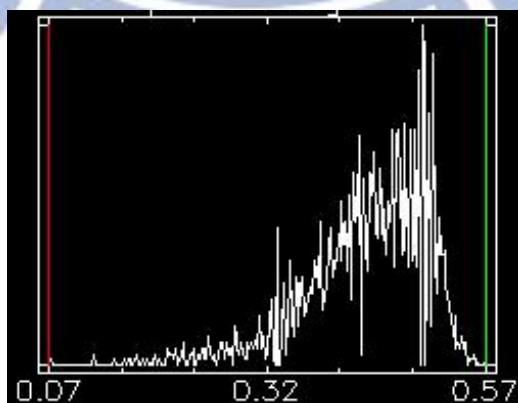


圖 3- 8、植被選取區之像元分布

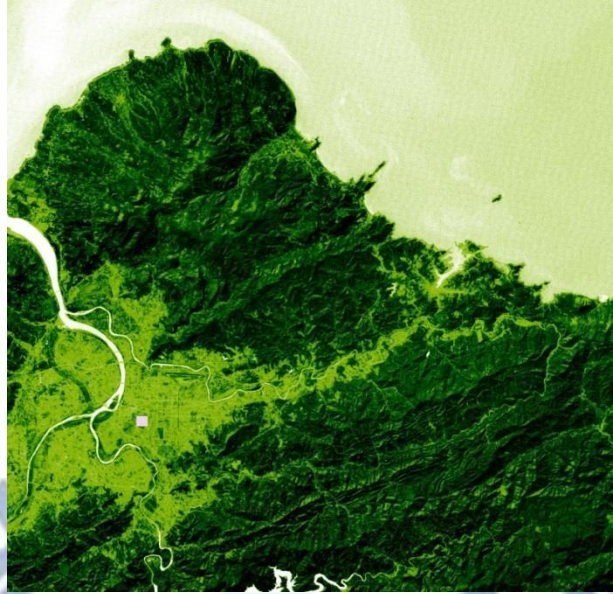


圖 3- 9、裸露地選取區

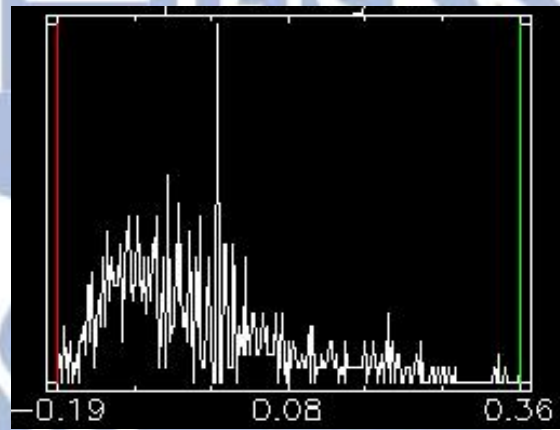


圖 3- 10、裸露地選取區之像元分布

由圖3- 7至圖3- 10可決定門檻值 $NDVI_{max}$ 為0.5， $NDVI_{min}$ 為0.05。任何地物當其溫度高於絕對溫度0K時，其中的組成物質的原子分子等微粒便會不停地做熱運動，有向周圍空間輻射紅外線與微波的能力，通常地物發射電磁輻射的能力即以發射率作為衡量的基準，發射率為一物體在某一溫度的輻射量與同溫度黑體輻射量的比值。根據式(9)所推算出來的地表植被比例，以地表植被比例來計算不同地物之地表發射率，其計算方式如方程式(10)：

$$\varepsilon = e_v P_v + e_s (1 - P_v) \quad (10)$$

植被與裸露地之發射率參考Mao(2005)，方程式(10)中各參數：

$\epsilon$ =該像元地物之發射率

$e_v$ = 植被發射率(0.96)

$e_s$ = 裸露地發射率 (0.99)

$P_v$ = 植被比例

### 3.4 地形與陰影

地形陰影對於地表溫度亦有影響，可藉由模擬太陽光照射地表，由於不同地形起伏所引起之明暗對比，以太陽的入射角與地形的坡度，再對地形圖進行渲染，使其有立體效果的一種方式。因此透過太陽高度角與方位角來計算表面的假定亮度值，太陽照射度的假定亮度值是介於0到255之間的整數灰度梯度，計算亮度值前需要先定義太陽在天空中的位置，而此位置可由兩個參數來進行描述：

太陽方位角：如圖3- 11太陽方位角表示的是太陽的水平上的角度方向，是以北方為基準方向，在0度到360度範圍內按照順時針進行測量的。

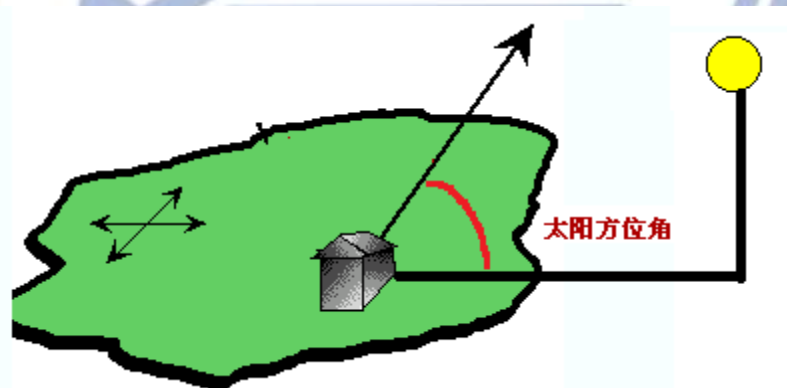


圖 3- 11、太陽方位角示意圖

太陽高度角：如圖3- 12太陽高度角指的是太陽高出地平線的角度或坡度，其高度的單位為度，範圍由0度到90度。



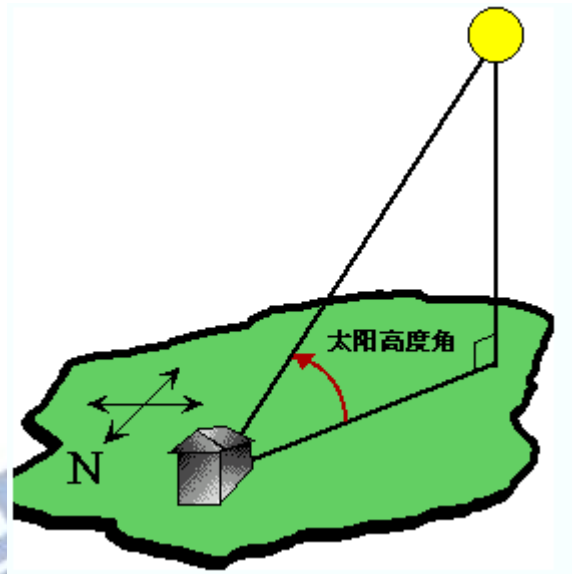


圖 3- 12、太陽高度角示意圖

山區陰影即為針對網格中的每個像元指定太陽高度角等訊息，來計算其表面的亮度值，透過假定光源的位置與計算與相鄰像元相關的每個像元的量值，便可以得到假定亮度值。計算山體陰影時，使用的高程資料為SRTM，資料如圖3- 13，其計算結果有可能是小於0的值，此時應該將小於0的值設置為0，其計算方程如方程式(11)所示。式中Hillshade即為陰影的假定亮度值，Zenith\_rad為太陽的天頂角，Slope\_rad為地形坡度，Aspect\_rad為地形坡向，Azimuth\_rad為太陽方位角。

$$\text{Hillshade} = 255.0 \times ((\cos(\text{Zenith\_rad}) \times \cos(\text{Slope\_rad})) + (\sin(\text{Zenith\_rad}) \times \sin(\text{Slope\_rad}) \times \cos(\text{Azimuth\_rad} - \text{Aspect\_rad}))) \quad (11)$$

利用方程式(12)將太陽高度角轉換為太陽天頂角，Altitude即為太陽高度角。

$$\text{Zenith}_{\text{deg}} = 90 - \text{Altitude} \quad (12)$$

利用方程式(13)轉為弧度：

$$\text{Zenith\_rad} = \text{Zenith} \times \pi / 180.0 \quad (13)$$

各日期之太陽高度角與太陽方位角表如表3-3。



表 3-3、不同日期太陽高度角與方位角對照表

	太陽高度角(度)	太陽方位角(度)
2001/2/18	44.65	140.92
2001/12/3	35.91	148.41
2002/1/4	35.34	148.83
2002/8/24	58.38	109.55
2002/12/6	35.59	148.64
2003/8/27	58.69	112.00

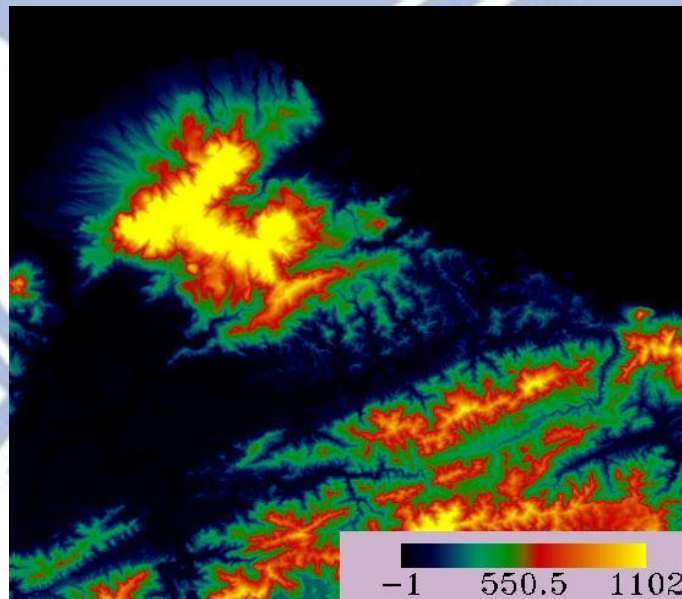


圖 3-13、SRTM 高程資料

### 3.5 地物分類提取

期望從遙測影像上獲取的資料，推估出之各種指數可以用作定性與定量的分析地表覆蓋

情形，其中 NDVI 指數用來估計作物產量以及植被覆蓋情形，NDWI 可用來估計地表層的含水量或是水體位置所在，NDBI 來分辨遙測影像上的裸露地及城市建設用地。嚴(2012)的研究將地物分成水體、植被與建地，如圖 3-14 在影像上選取控制點位，以不同的地物分類來選取，影像上的綠色選取區代表植被，紅色選取區代表裸露地或是城市建物，淺藍色選取區則為水體區。



圖 3-14、選取區域示意圖

除了熱紅外波段可直接使用光譜輻射值轉換成亮度溫度，其他的波段皆要先利用光譜輻射值求得反射率後再進行波段計算（徐涵秋，2007）。針對地物做分類需使用各波段的反射率，計算反射率須由原始影像中的灰度值(DN)，轉換為該像元對應至感測器的光譜輻射值，接著再進一步轉換為感測器處的反射率(衛星所直接觀測之反射率)，如方程式(14)所示。

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{E_{sun\lambda} \times \cos \theta_s} \quad (14)$$

式中 $\rho_{\lambda}$ 為該對應像元在感測器處的反射率值， $L_{\lambda}$ 為光譜輻射值， $E_{sun\lambda}$ 為太陽頂部的平均太陽幅照度，其值如表 3-4 所列， $\theta_s$ 為太陽天頂角，d 為太陽與地球間的距離，如表 3-5，表中為以每年的第一天起計算到觀測日期的天數，並以內插的方式求算不同日期間的日地距離。分別將選取區域的控制點位於 6 個不同波段的反射率做統計取其平均值，並將它們作為

圖表如圖 3- 15。

表 3- 4、大氣頂部的平均太陽幅照度(徐，2007)

波段	Landsat-5 TM	Landsat-7 ETM+
1	1957.00	1.969.00
2	1826.00	1.840.00
3	1554.00	1551.00
4	1036.00	1044.00
5	215.00	225.70
7	80.67	82.07

表 3- 5、太陽與地球距離(天文單位)(徐，2007)

Day	d	Day	d	Day	d	Day	d	Day	d
1	0.9832	74	0.9945	152	1.0140	227	1.0128	305	0.9925
15	0.9836	91	0.9993	166	1.0158	242	1.0092	319	0.9892
32	0.9853	106	1.0033	182	1.0167	258	1.0057	335	0.9860
46	0.9878	121	1.0076	196	1.0165	274	1.0011	349	0.9843
60	0.9909	135	1.0109	213	1.0149	288	0.9972	365	0.9833



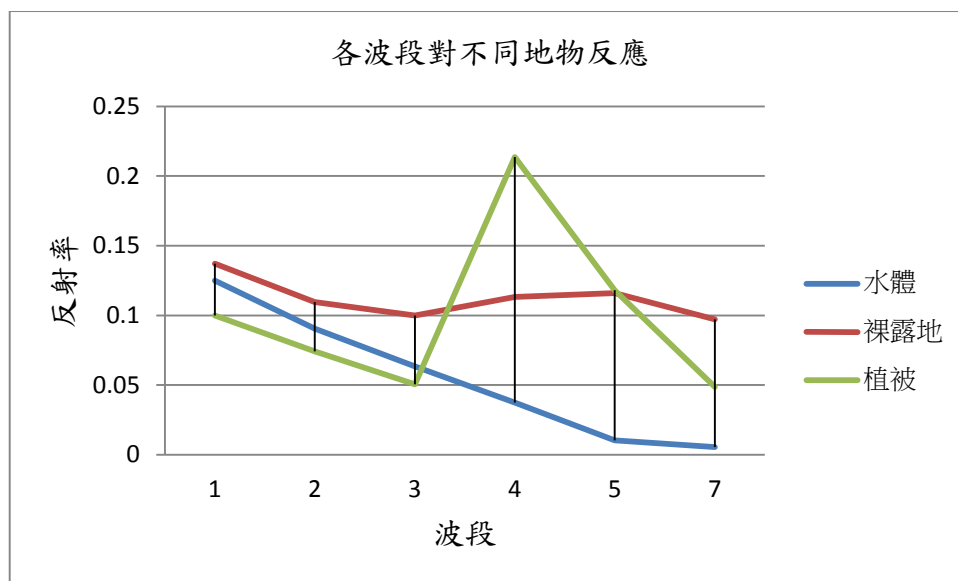


圖 3- 15、各波段於不同地物反應

由圖 3- 15 很明顯的注意到植被在第 3 波段和第 4 波段區間與水體和裸露地的光譜反應有明顯差異，此區間植被反射率大幅提升，因此此波段區間可用於識別地物是否為植被地區，其計算公式如方程式(15)。

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \quad (15)$$

式中分子部分Band4-Band3即為用於識別是否為植被，分母部分Band4+Band3則用於正規化，將產出的 NDVI 值標準化為值由-1~1 之間的指數。

裸露地的部分，可注意到在第 4 波段和第 5 波段之間，裸露地的光譜反應與植被及水體相差大，除裸露地外的植被與水體區域反射率皆明顯下降，故此波段區間可用時識別地物是否為裸露地或是建物區域，其計算公式如方程式(16)。

$$NDBI = \frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4} \quad (16)$$

與植被相似，式中的分子部分Band5-Band4即為用於識別是否為裸露地，分母部分Band5+Band4則用於正規化，將產出的 NDBI 值標準化為值由-1~1 之間的指數。

水體的部分，也可以很明顯的注意到在第 2 波段和第 5 波段之間，水體的光譜反應與裸露地及植被相差最大，因此此波段區間可用時識別地物是否為水體或是地表層的含水量，其



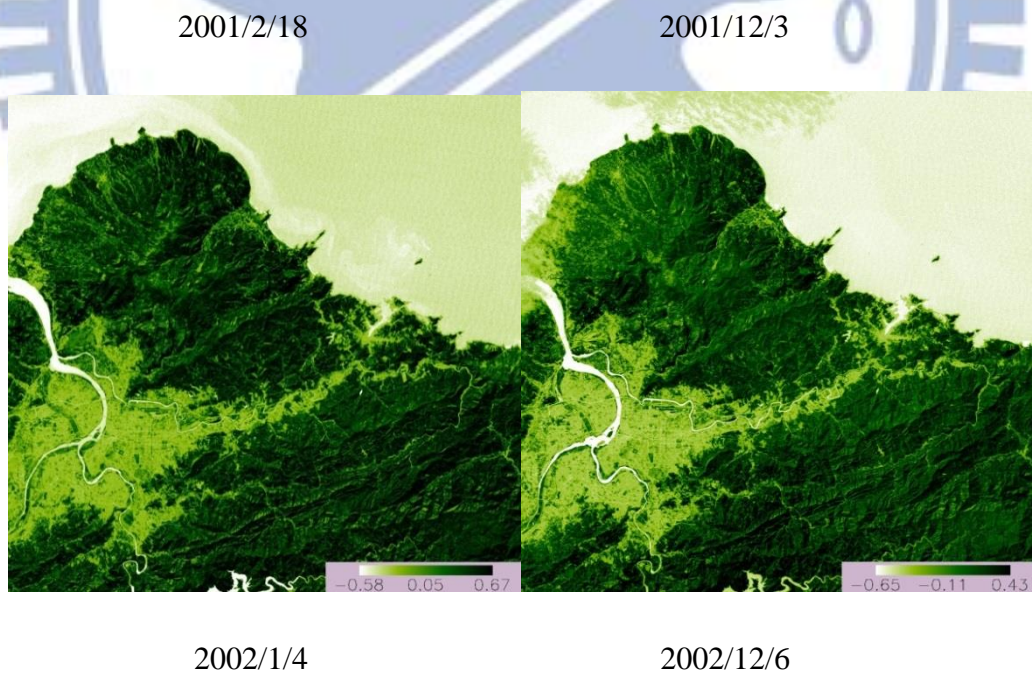
計算公式如方程式(17)。

$$NDWI = \frac{\text{Band2} - \text{Band5}}{\text{Band2} + \text{Band5}} \quad (17)$$

與前面所述相似，上式分子部分Band2-Band5即為用於識別是否為水體，分母部分Band2+Band5則用於正規化，將產出的 NDWI 值標準化為值由-1~1 之間的指數。

### 3.6 偵測火山錐

由於受天候及環境之影響，不同季節間衛星紅外影像的溫度差異會很明顯，為了要找尋在大台北地區中地表溫度隨著時間之變化情況，需先尋找每一影像的參考基準點，基準點的選定的原則為其溫度在不同時間點溫度變化量較小的區域。在不同季節的變化較小的地區通常為植被覆蓋的區域，因森林區域在不同時節所造成溫度的變化量相對較小，故於圖 3- 16 中的 4 張不同時期影像上利用 NDVI 值選取出在各時節皆為植被且溫度變化量較小的地區。



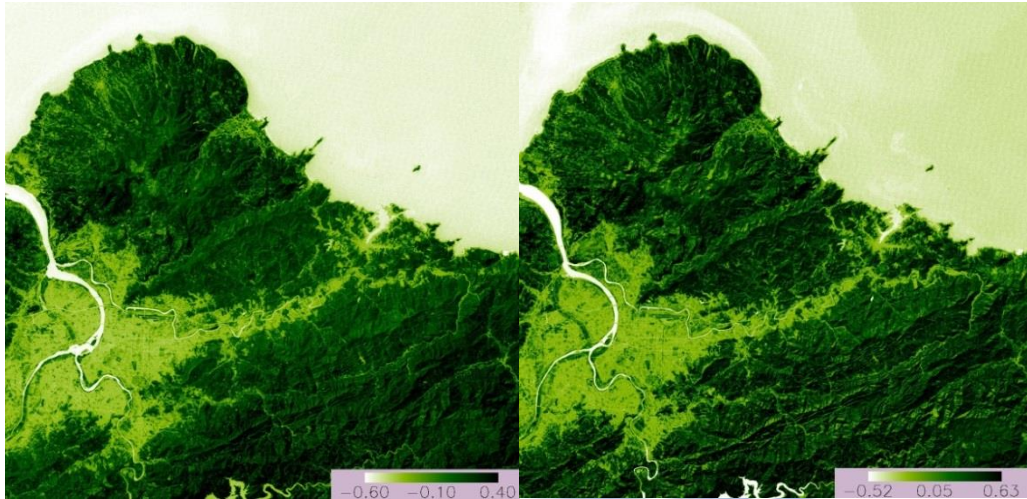


圖 3- 16、不同(4 個)時期 NDVI 影像

選取了在四個不同時間的植被較濃密其 NDVI 值較高的區域且溫度差值較小的區域，並選取基準點，點位的選擇不單考慮 NDVI 值較高之區域，還有比對在各張影像上變化量較趨近於其平均值的部分，即為變化量較小的區域。選取點位如圖 3- 17，紅色點則為所選取之點位。

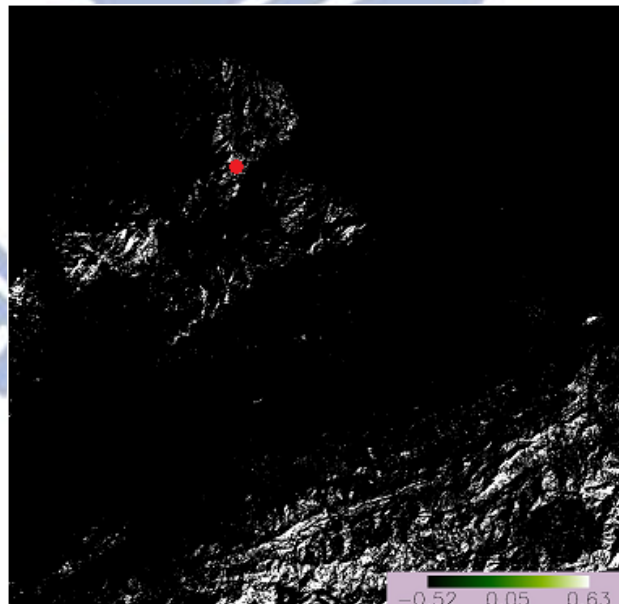


圖 3- 17、選取溫度隨時間變化量較小之點位(紅點)

以圖 3-17 中之紅點位置為為參考基準點，將其他像元之觀測值來與之相減，可得到一張以此點為基準之差值影像如圖 3- 18 至圖 3- 22，產生此張圖的意義為因為每張衛星影像拍攝



時間點季節不同，因此選取森林區域其變化較小的點為基準，如此便可針對不同季節的影像計算出與基準點位之相對變化量。於各不同時間點所選取之參考點位對應的亮度溫度則如表 3-6 所列。

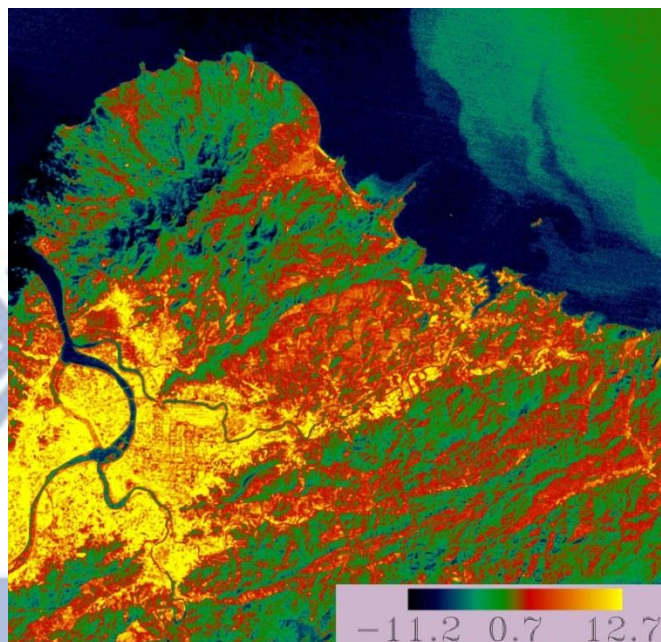


圖 3- 18、2001 年 2 月 18 日與基準點溫度差值

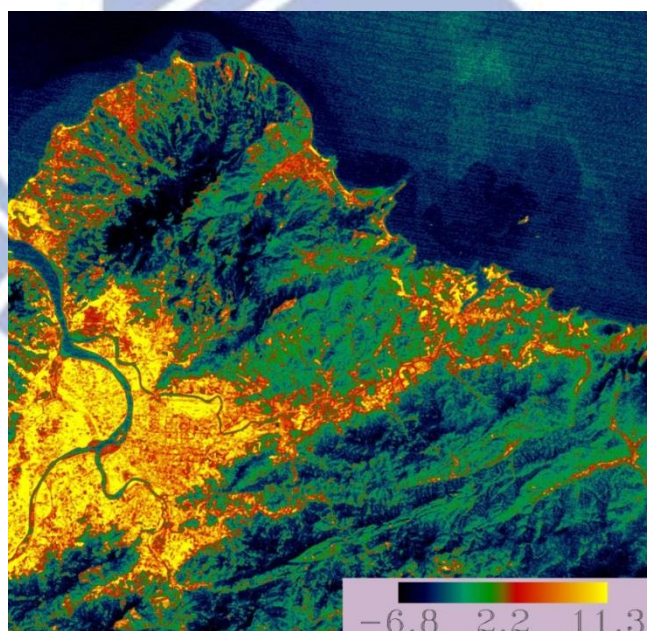


圖 3- 19、同圖 3-16，但為 2001 年 12 月 3 日

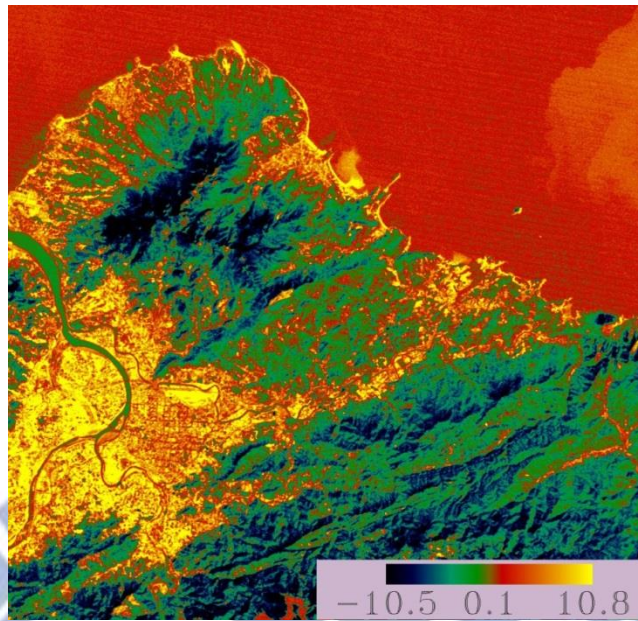


圖 3- 20、同圖 3-16，但為 2001 年 1 月 4 日

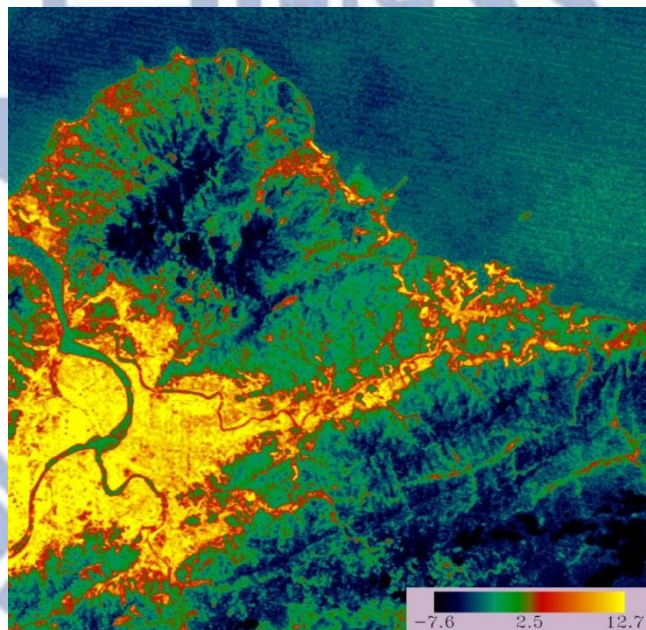


圖 3- 21、同圖 3-16，但為 2002 年 8 月 24 日



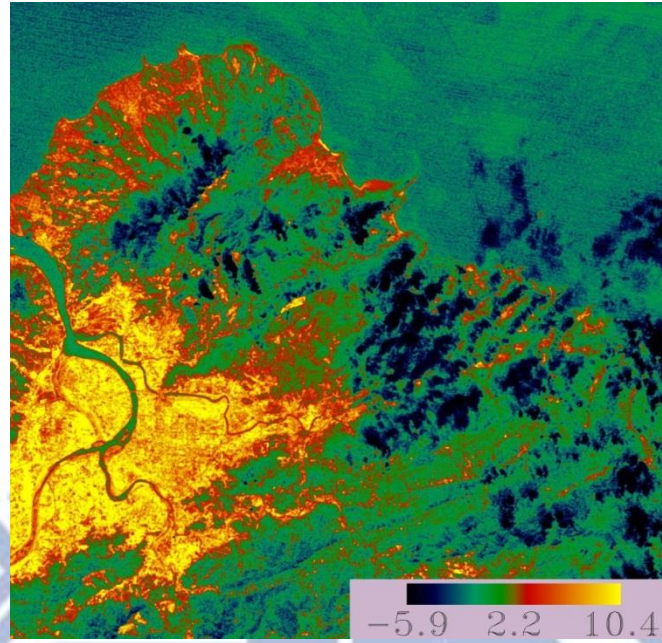


圖 3-22、同圖 3-16，但為 2002 年 12 月 6 日

表 3-6、不同時間點所選取參考點位所對應的亮度溫度

日期	溫度(K)
2001/2/18	294.8
2001/12/3	296.7
2002/1/4	292.3
2002/8/24	298.8
2002/12/6	295.2

## 第四章結果與分析

本文應用 Landsat 衛星影像在探討大台北地區地表溫度之時空分布與特性，主要以四個參數進行量化分析與評估，包括地表溫度(LST)、植被指數(NDVI)、水體指數(NDWI)與建物指數(NDBI)。並以地表溫度與水體及建物進行趨勢之探討，以了解不同地物或土地利用時溫度之趨勢，主要藉由地表溫度的資訊配合時間序列上溫度的變化，以獲取火山地熱分布的可能地區，並透過不同地物與溫度間之趨勢比較，便可得到較大的火山群之位置分布。

### 4.1 台灣北部地區溫度分布圖

本研究利用 Landsat 影像反演地表溫度之結果如圖 4-1 至圖 4-6 所示，根據圖中所呈現地表溫度之分布，台灣北部大範圍的高溫區域主要分布於台北市中心(淡水河流域周圍處)，溫度較低的區域主要有兩個地區：其一為大台北地區上方的陽明山，其主因陽明山為山區，地勢相對於盆地溫度則較低，其二為台北市的南方與東南方之森林山區，亦為地勢較高而造成其溫度與盆地溫度相較起來較低。

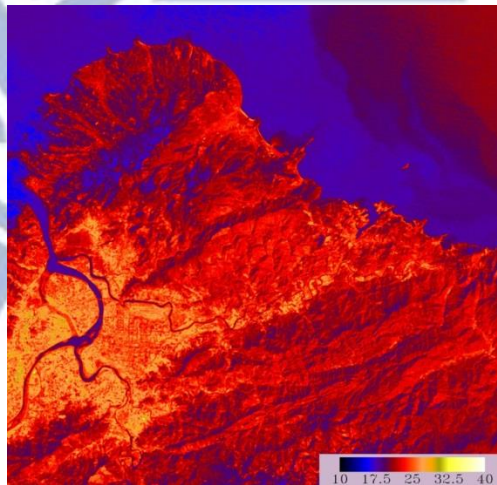


圖 4-1、2001 年 2 月 18 日地表溫度分布圖(°C)



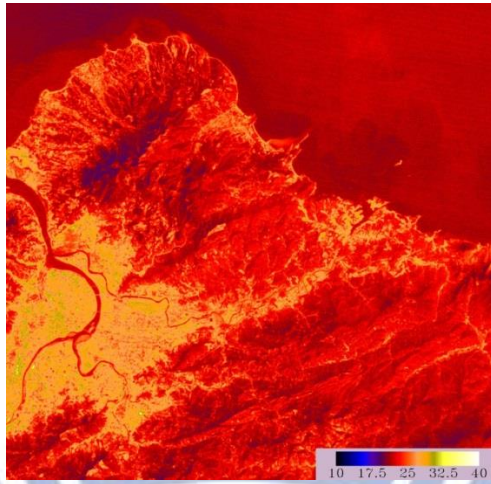


圖 4-2、同圖 4-1，但為 2001 年 12 月 3 日

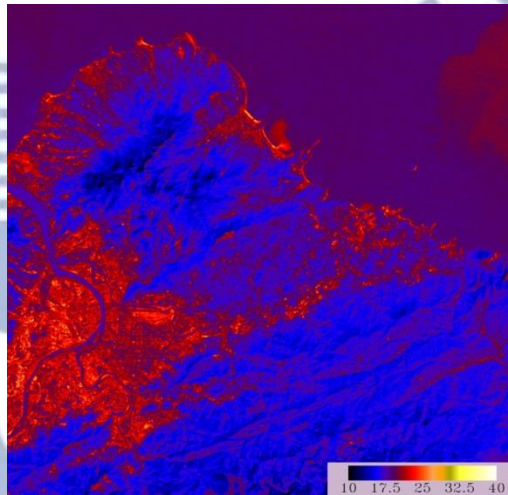


圖 4-3、同圖 4-1，但為 2002 年 1 月 4 日

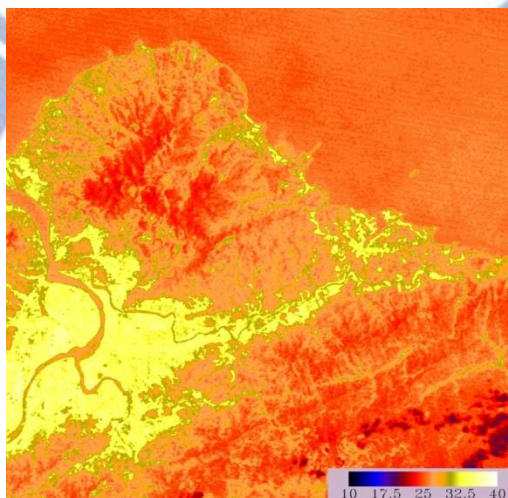


圖 4-4、同圖 4-1，但為 2002 年 8 月 24 日



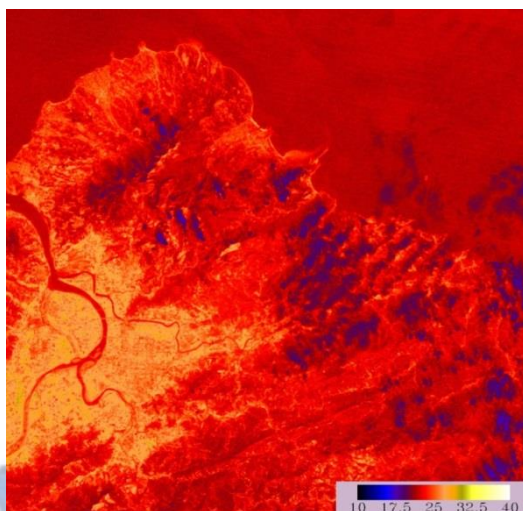


圖 4-5、同圖 4-1，但為 2002 年 12 月 6 日

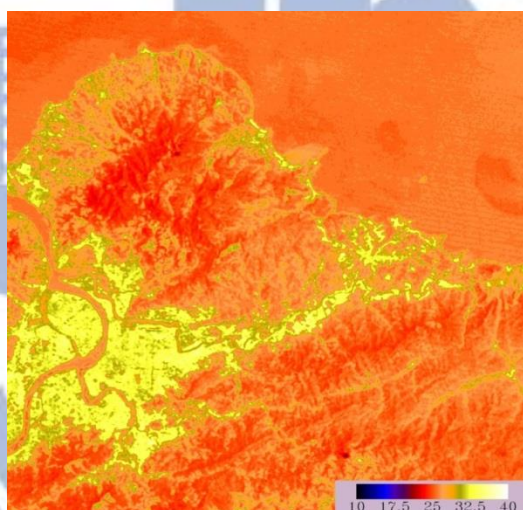


圖 4-6、同圖 4-1，但為 2003 年 8 月 27 日

將研究區域不同時間點(圖 4-1 至圖 4-6)的平均地溫如表 4-1，由表中可發現這幾個月份中溫度最低的月份為 1 月與 2 月，在這兩個月份為冬天最寒冷的季節，大台北地區整體平均地溫大約在 20°C 左右，而溫度最高的則為 8 月份，在整張影像上整體相較起來溫度較高，平均地溫大約在 27°C 左右。

表 4- 1、不同日期平均地溫表

月份	平均地溫
2001.2.18	20.9
2001.12.3	22.9
2002.1.4	18.2
2002.8.24	27.2
2002.12.6	22.6
2003.8.27	26.9

在研究區域選取城市區與郊區之代表區塊，如圖 4- 7 中的紅色與淡綠色區域所示，並將兩個區域的平均地溫與差值統計出來如表 4- 2，表中可發現在都市地區的地表溫度皆高於郊區的地表溫度，整體都高於 4~5 度左右，尤其在夏天的部分都市區域與郊區差值更可達到 8 度左右，由於大台北都會區地區皆為裸露地與建物且為盆地，裸露地的比熱較小，白天吸收太陽輻射能力較強，溫度提升較快，造成溫度較高，因此造成在夏天時都市的地表溫度大幅提升，此即為都市熱島效應。

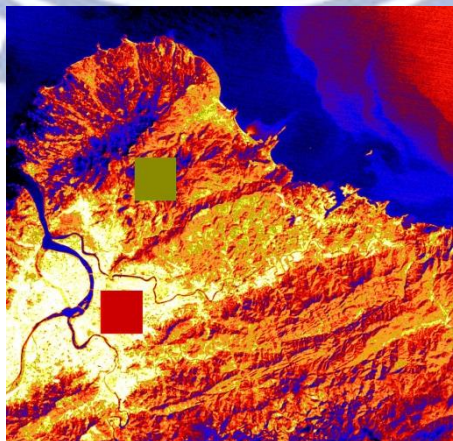


圖 4- 7、都市區與郊區選取區域示意圖

表 4-2、都市區與郊區平均溫度與差值(K)

	都市	郊區	差值
2001.2.18	298.11	293.75	4.36
2001.12.3	299.94	294.98	4.96
2002.1.4	293.68	288.79	4.89
2002.8.24	306.75	298.26	8.49
2002.12.6	299.36	294.86	4.5
2003.8.27	305.44	298.11	7.33

## 4.2 實際測站溫度比較

本文利用 Landsat 影像所反演之地表溫度將與地面測站之觀測資料進行比較，以評估地溫反演之準確性。表 4-3 為 4 個地面測站(淡水、鞍部、台北、竹子湖)實際測得的地表溫度，時間為早上 10 時，以測站的經緯度座標對照由 Landsat ETM+反演出來的對應位置之地表溫度做比較，

表 4-4 中可看出 Landsat ETM+所反演出的地表溫度整體平均約為 2°C 左右之差異，顯示本研究由衛星資料所反演的地表溫度頗為合理，可用於後續的相關比較及分析。



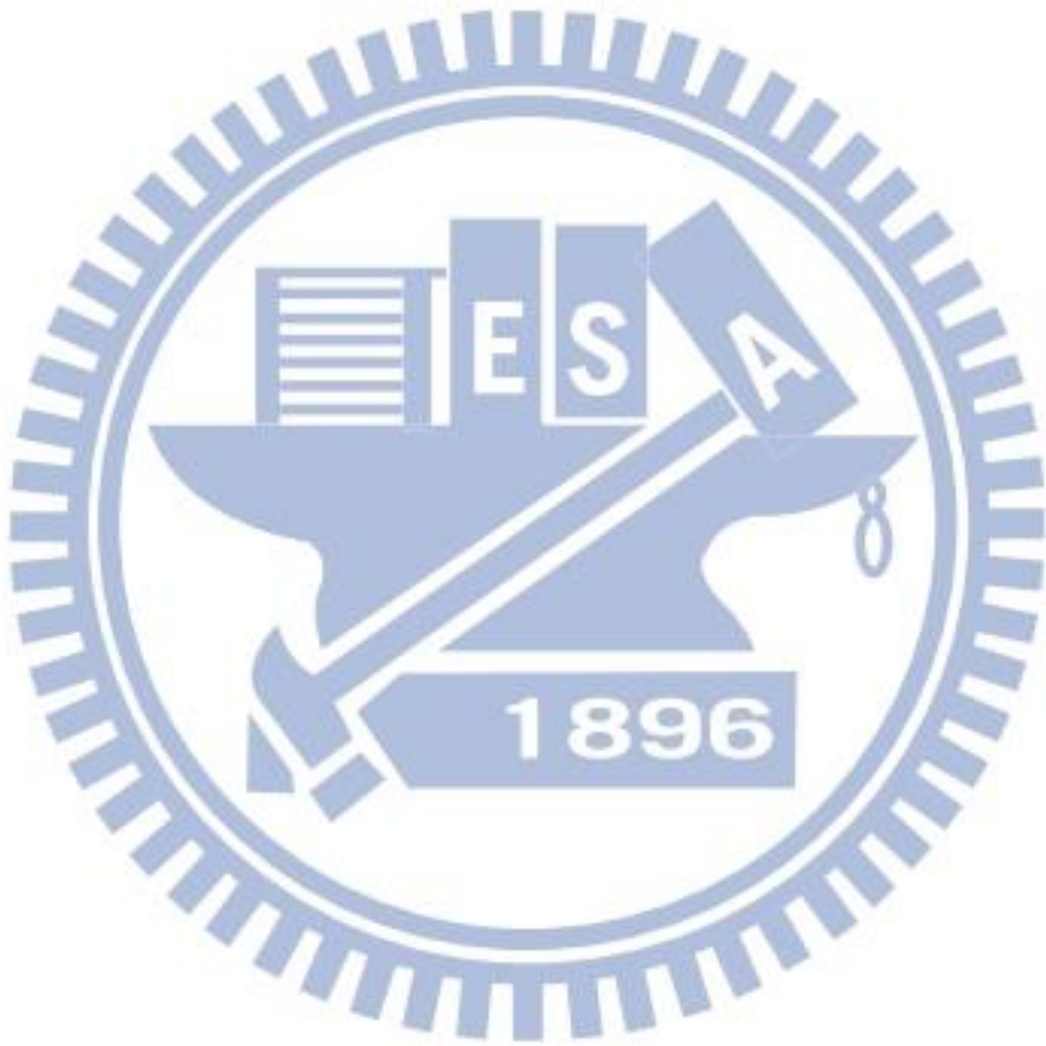
表 4-3、各影像所反演之地表溫度與實際測站溫度比較表(°C)

站名	經度	緯度	高度	日期	測溫	反演溫度
淡水	121°26' 24" E	25°09' 56" N	19.0m	2001.12.3	23.4	21.3
				2002.01.04	16.9	16.9
				2002.12.06	23.0	21.3
鞍部	121°31' 12" E	25°11' 11" N	825.8m	2001.12.3	21.6	20.9
				2002.01.04	13.9	15.5
				2002.12.06	22.0	21.7
臺北	121°30' 24" E	25°02' 23" N	5.3m	2001.12.3	25.4	29.1
				2002.01.04	15.8	22.4
				2002.12.06	24.6	27.0
竹子湖	121°32' 11" E	25°09' 54" N	607.1m	2001.12.3	21	22.1
				2002.01.04	12.6	15.9
				2002.12.06	21.3	22.2

表 4-4、反演溫度與測站溫度差值(°C)

	淡水	鞍部	台北市	竹子湖
2001.12.3	-2.1	-0.7	3.7	1.1
2002.1.4	0	1.6	6.6	3.3

2002.12.6	-1.7	-0.3	2.4	0.9
-----------	------	------	-----	-----



### 4.3 台灣北部地區 NDVI 分布圖

在植被指數的計算方面，根據圖 4-8 至圖 4-13，台灣北部地區的植被植生指數(NDVI)中可以發現，於山區的部分，尤其是在大台北地區的陽明山與東部東南部的山區，其由於植被普遍覆蓋較濃密而造成植被植生指數較高，而在大台北市區盆地，則大多數為建物及裸露地，表示該區域幾乎較無植被的存在，其對應之 NDVI 值則相對偏低。

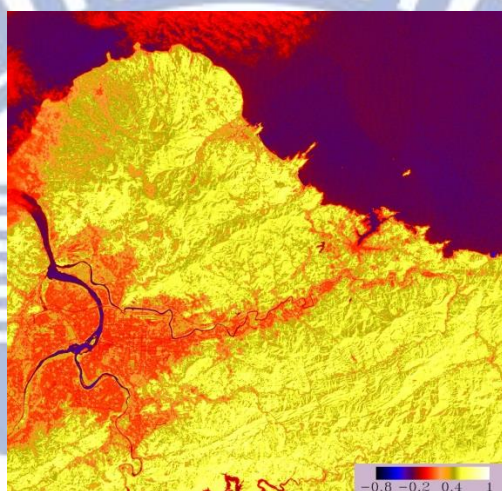


圖 4-8、2001 年 2 月 18 日 NDVI 分布圖

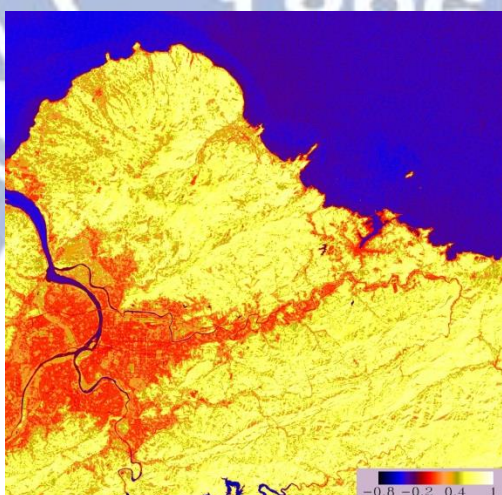


圖 4-9、同圖 4-8，但為 2001 年 12 月 3 日



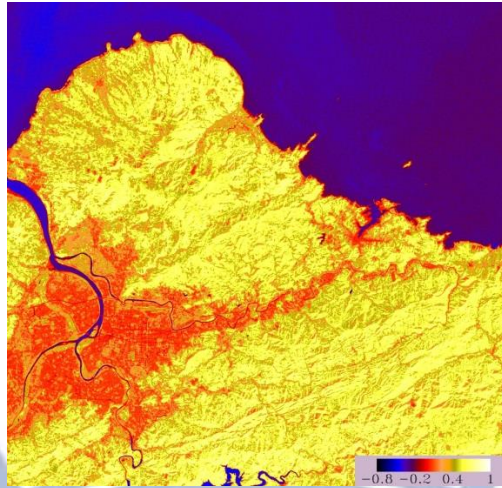


圖 4- 10、同圖 4- 8，但為 2002 年 1 月 4 日

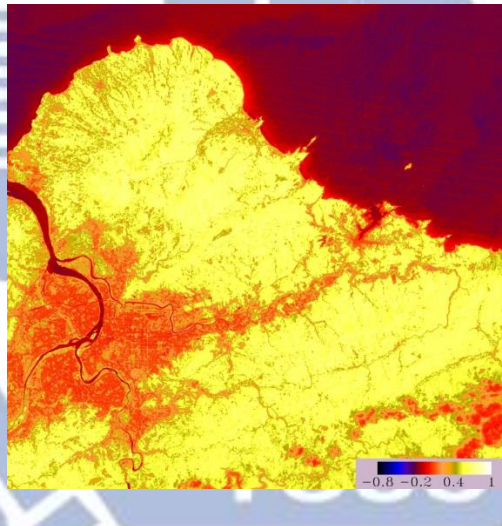


圖 4- 11、同圖 4- 8，但為 2002 年 8 月 24 日

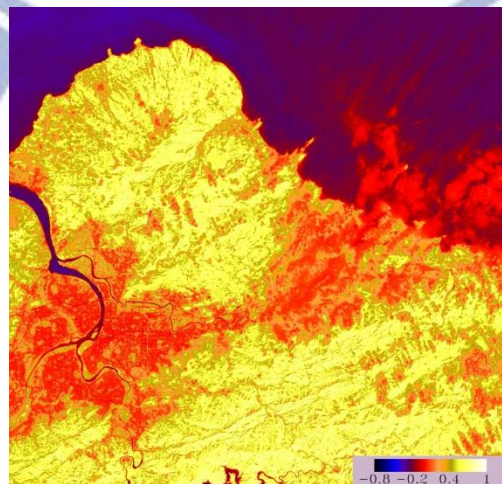


圖 4- 12、同圖 4- 8，但為 2002 年 12 月 6 日

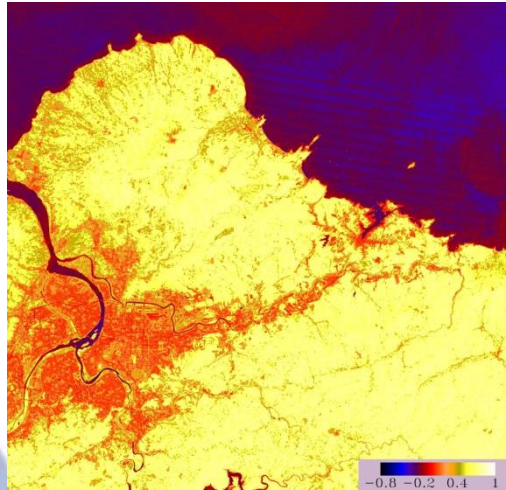


圖 4-13、同圖 4-8，但為 2003 年 8 月 27 日

將不同日期影像的植被植生指數做平均值如表 4-5，表中可發現於 1 月及 2 月左右時的植被植生指數在整張影像上明顯偏低約在 0.24 左右，此時在台灣正值冬天不利於植物的生長，而在 8 月左右正值台灣地區的雨季，整體影像上的 NDVI 值明顯較高(影像較為明亮)，約在 0.3 左右。

表 4-5、不同日期平均 NDVI 值

月份	平均 NDVI
2001.2.18	0.248
2001.12.3	0.256
2002.1.4	0.237
2002.8.24	0.291
2002.12.6	0.237
2003.8.27	0.328

在研究區域選取城市區與郊區之代表區塊，選取區域同圖 4-7 中的紅色與淡綠色區域，並將兩個區域的平均植被植生指數與差值統計出來如表 4-6，表中可發現在郊區的植被植生指數皆高於都市地區，整體高於 0.45~0.60 左右，尤其在夏天的部分都市區域與郊區差值更可達到 0.62 左右，由於夏天的溫度高較利於植物的生長，因此在夏天的時候郊區的植被快速生長，便造成不同季節上郊區的植被指數差值更甚於都市區域。

表 4-6、都市區與郊區平均 NDVI 與差值

	都市	郊區	差值
2001.2.18	0.0626	0.5250	-0.4624
2001.12.3	0.0529	0.5471	-0.4942
2002.1.4	0.0643	0.5926	-0.5283
2002.8.24	0.0815	0.6757	-0.5942
2002.12.6	0.0376	0.4956	-0.458
2003.8.27	0.965	0.7214	-0.6249

#### 4.4 水體與溫度趨勢圖

在地物的水含量方面，由於使用衛星影像只能得到地球表面的資料，因此 NDWI 只可用在探討地表淺層含水量的多寡。如圖 4-14 選取大台北地區淡水河區之陸地與水域交界域，將含水量指數與地表溫度做回歸，由圖 4-15 至圖 4-20 很明顯呈現負相關，相關係數大約在 0.9 左右。由於熱紅外波段為直接接受地表的輻射，可直接使用光譜輻射值轉換為溫度，水體的區域因為熱紅外影像拍攝時間約為早上 10 時，水體或含水較高區域的比熱較大，溫度較不易升高或降低，因此在早上 10 時左右，有水體或含水量高的區域溫度會較低，與溫度成反



比。因此當水體指數越高代表其為水體或含水量越高時，觀測的溫度反而越低，反之亦然，當水體指數越低時其水體或含水量越低，此時的溫度則相對較高。另外在水體與溫度的趨勢圖中，NDWI 在 0.1~0.2 以下的部分其溫度分布並無明顯的相關性，因為此時大多為陸地區域，與純粹水體不同，因此其溫度與地表物的成分息息相關，造成在這個區間的相關性較低。

另一方面，由圖 4- 15 點位分布可以發現大致可分為三個區塊，由於選取區域為淡水河與陸地交界處，在 NDWI 值 0.6 以上形成一個區塊，此區塊為純水體區域，其表層完全水體；在 NDWI 值 0~0.6 之間形成第二個區塊，由於影像解析度的關係，此區塊為表層完全水體與陸地之交接處；在 NDWI 值在 0 以下的部分則為第三個區塊，此區塊為表層水體含量較少的部分。



圖 4- 14、水體選取區域

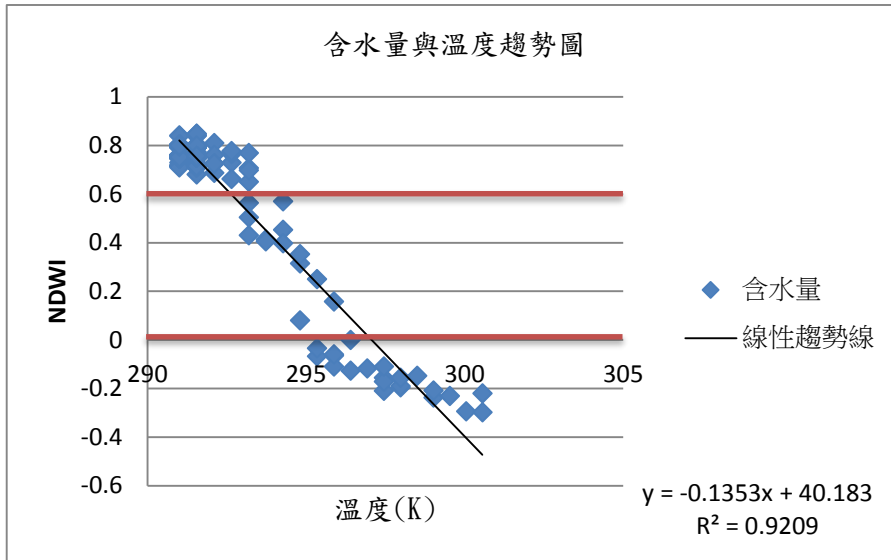


圖 4- 15、2001 年 2 月 18 日水體與溫度趨勢圖

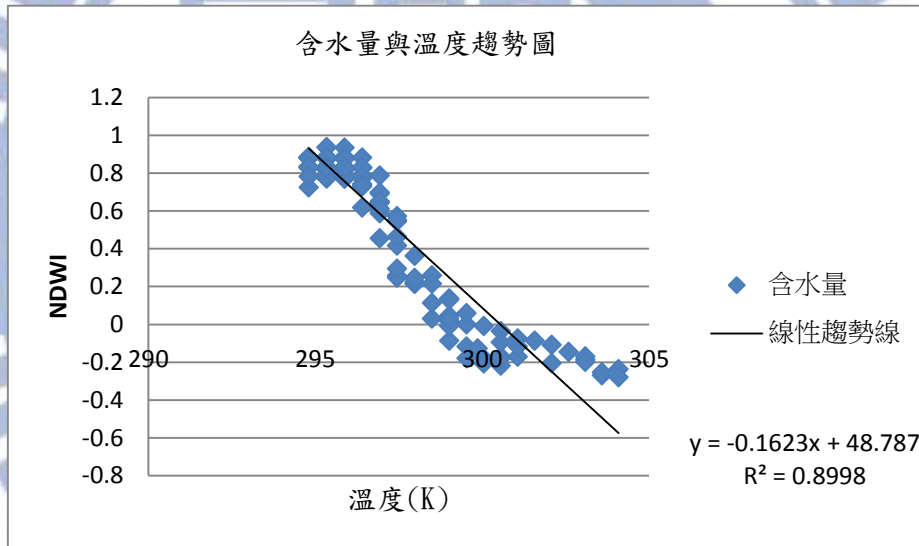


圖 4- 16、同圖 4- 15，但為 2001 年 12 月 3 日

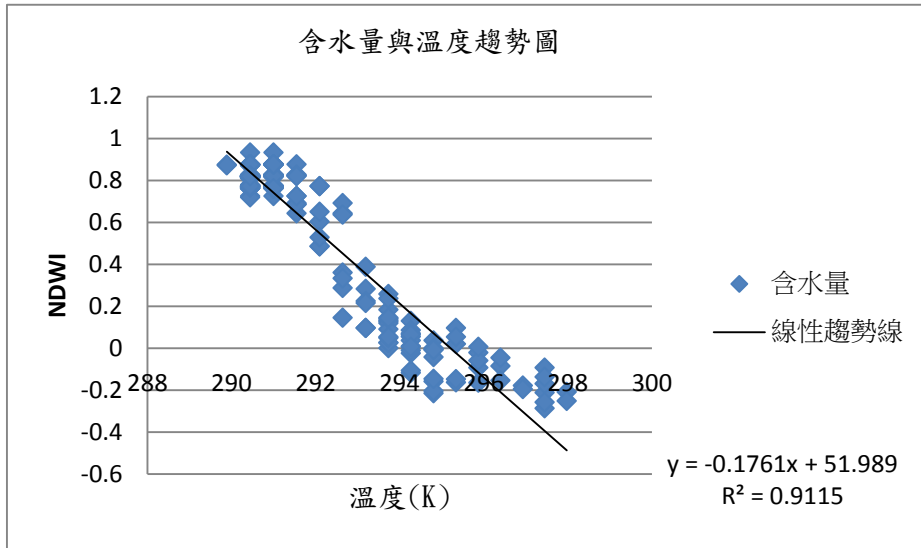


圖 4- 17、同圖 4- 15，但為 2002 年 1 月 4 日

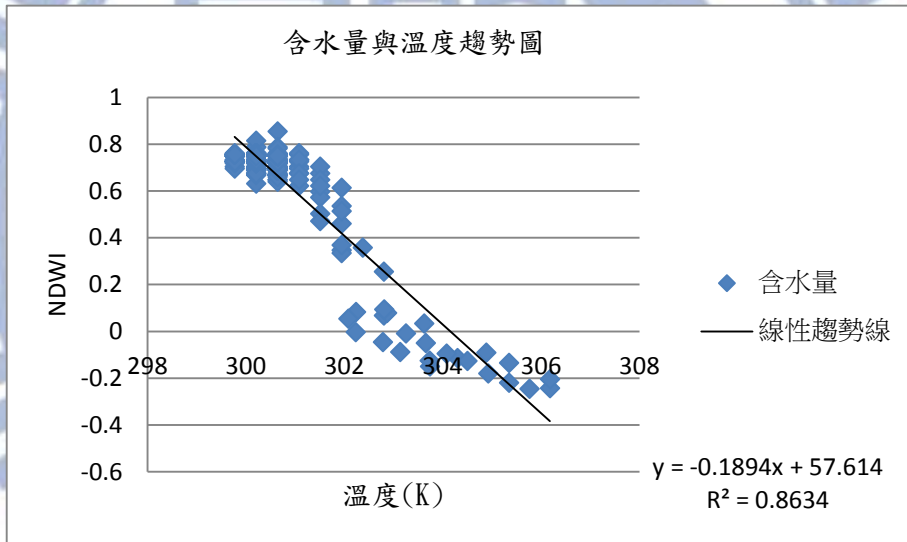


圖 4- 18、同圖 4- 15，但為 2002 年 8 月 24 日



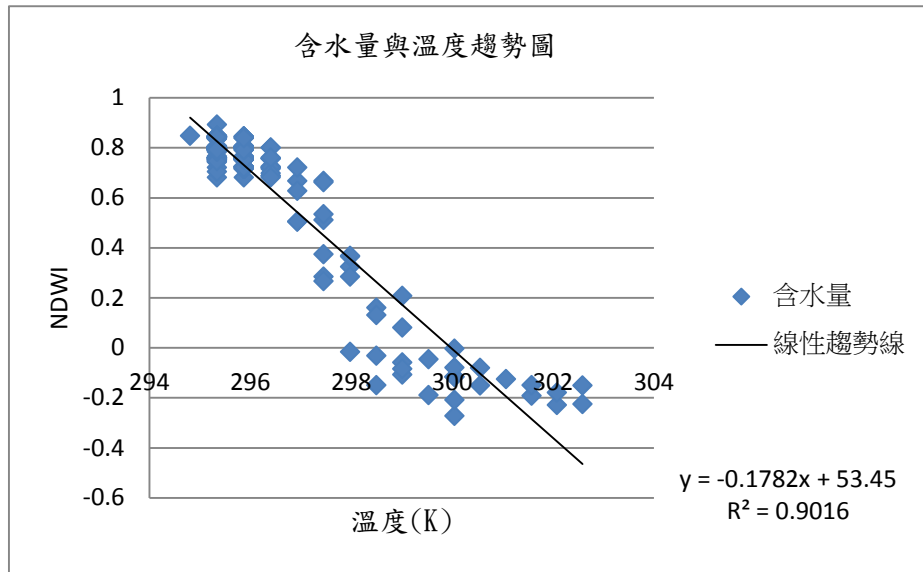


圖 4- 19、同圖 4- 15，但為 2002 年 12 月 6 日

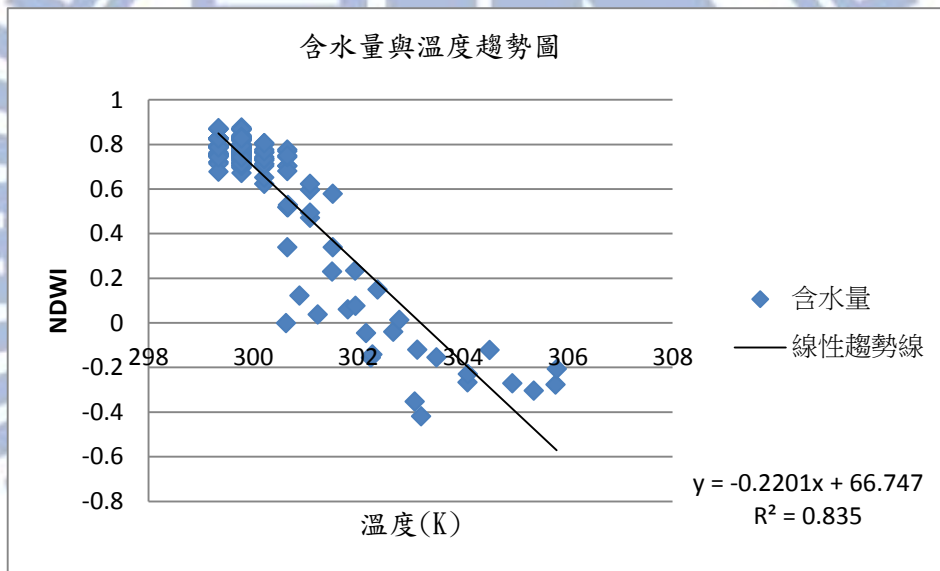


圖 4- 20、同圖 4- 15，但為 2003 年 8 月 27 日

#### 4.5 裸露地與溫度趨勢圖

在裸露地的部分，首先選取台北市區裸露地與非裸露地交界的區塊如圖 4- 21 所示，將其裸露地指數與地表溫度進行回歸分析，其結果呈現正相關，詳如圖 4- 22 至圖 4- 27 的分布，其相關係數約在 0.7 左右，相較於含水量指數較低，而相關係數較低應當與於陸地上有較多不同的地物，因此其裸露地程度與溫度的趨勢的相關係數會下降。當裸露地指數越高代表其為裸

露地或建物的可能越高，此時的溫度越高，相反之，當裸露地指數越低時其裸露地或建物的可能性越低，此時的溫度則越低。另外在裸露地與溫度的回歸關係數皆低於水體與溫度之關係，主要為裸露地選取區含有較多的物種，因其發射特性不一(發射率)而使相關係數降低。由於裸露地或建物較多的區域，此區域比熱較小，早上 10 時左右吸收太陽輻射而提升溫度較為快速，而造成裸露地的面積比例較大的地區，其溫度相對較高。

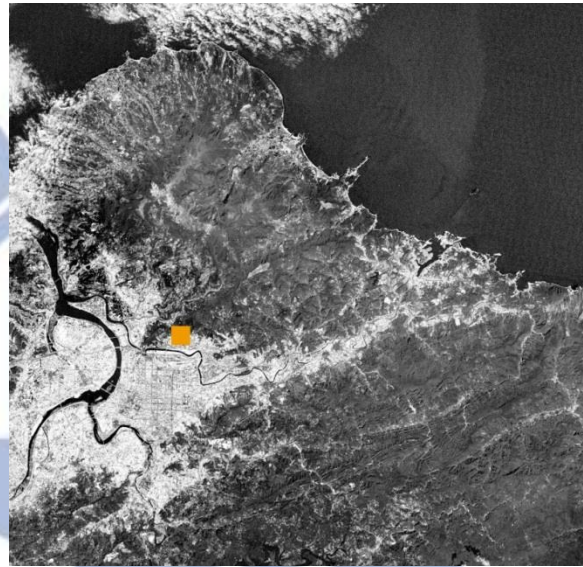


圖 4- 21、裸露地選取區域

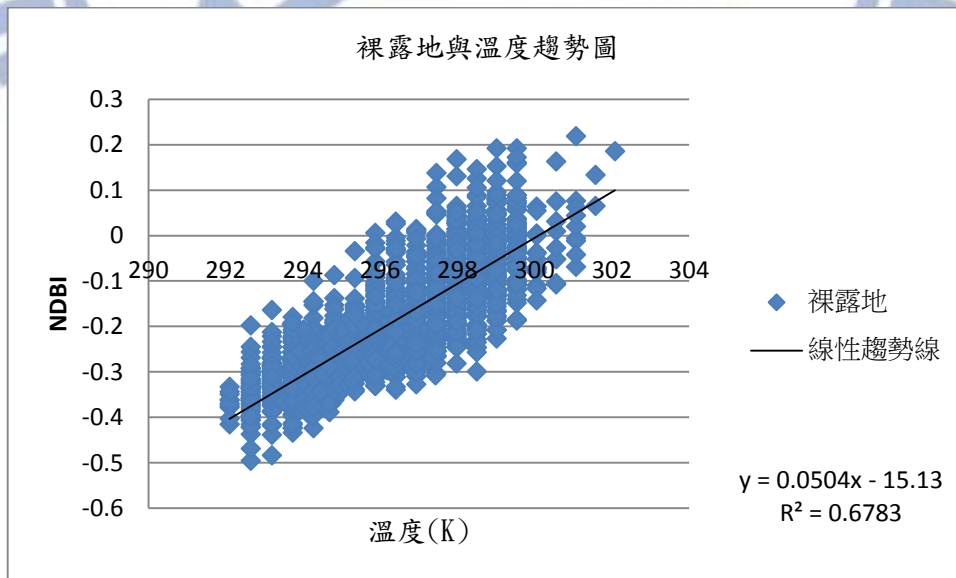


圖 4- 22、2001 年 2 月 18 日裸露地與溫度趨勢圖

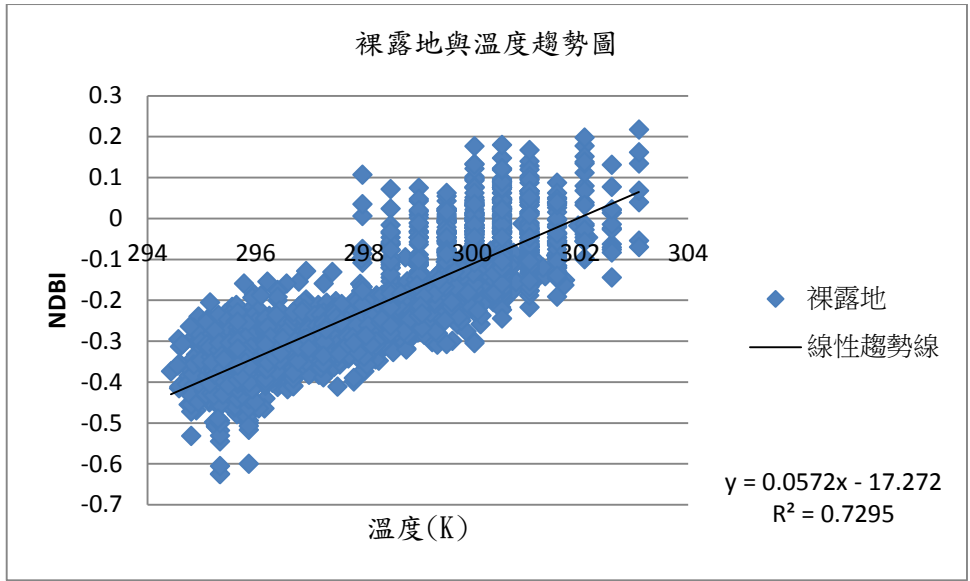


圖 4- 23、同圖 4- 22，但為 2001 年 12 月 3 日

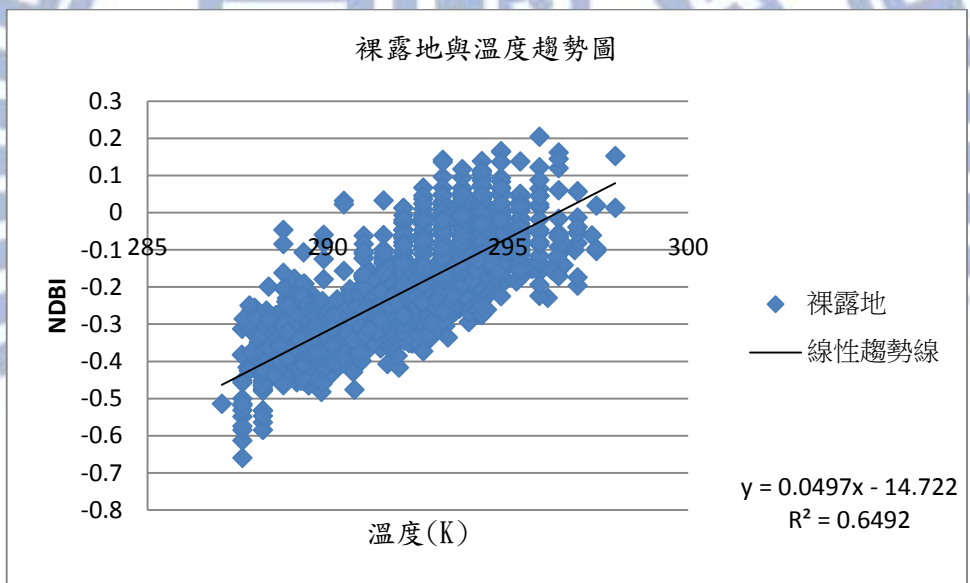


圖 4- 24、同圖 4- 22，但為 2002 年 1 月 4 日



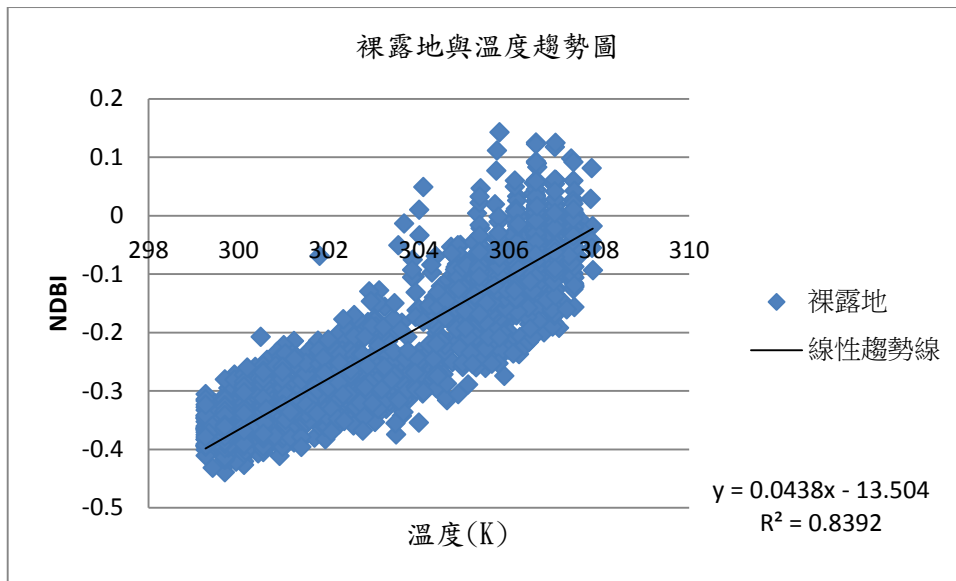


圖 4-25、同圖 4-22，但為 2002 年 8 月 24 日

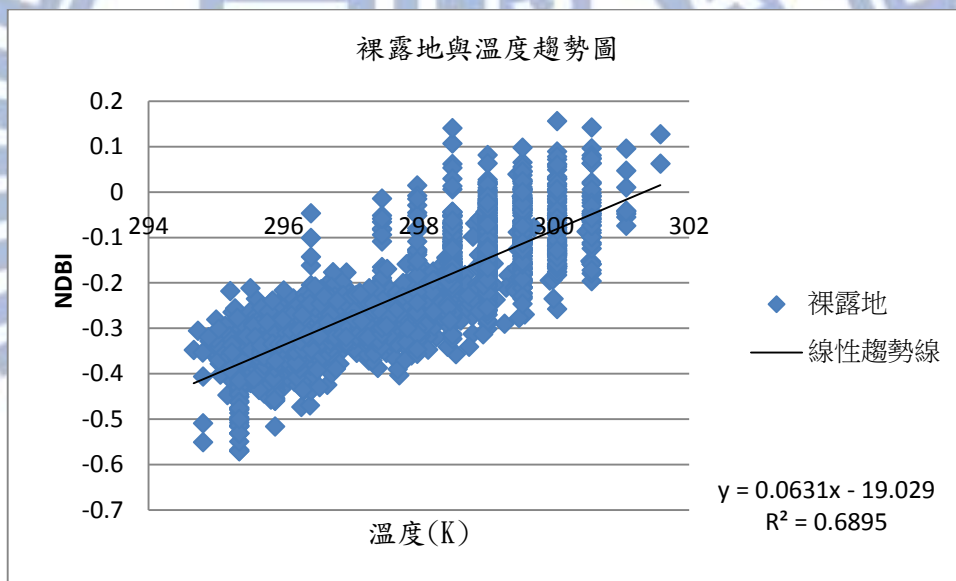


圖 4-26、同圖 4-22，但為 2002 年 12 月 6 日

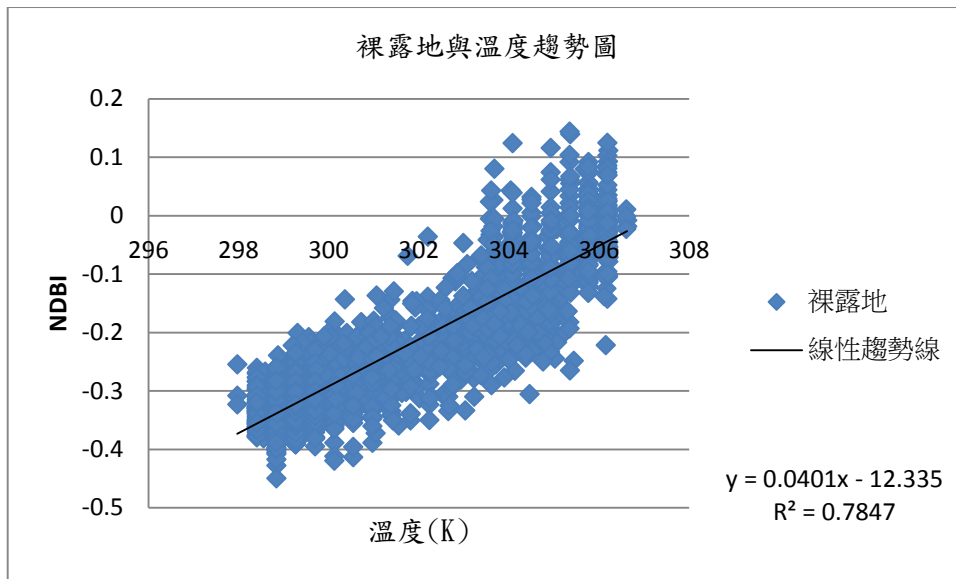


圖 4-27、同圖 4-22，但為 2003 年 8 月 27 日

## 4.6 大台北地區陰影資料與分析

在陰影的部分，由圖 4-28 的溫度分布圖與圖 4-29 至圖 4-34 各張陰影資料可發現陰影對於溫度分布有著很明顯的影響，太陽日照區的地表溫度皆明顯偏高，而於太陽的陰影區地表溫度明顯較低。但由於太陽的非日照區的地表輻射並非真實，因此並無特定之關係。

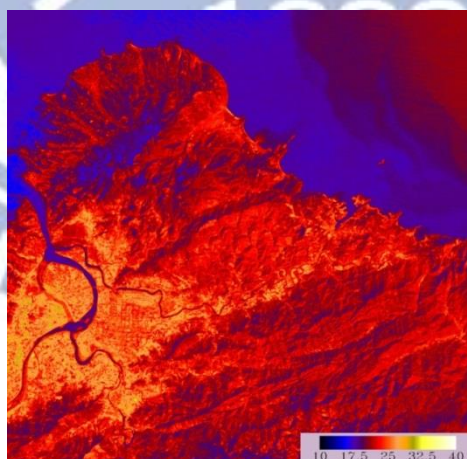


圖 4-28、溫度分布圖(K)用於與陰影影像比較

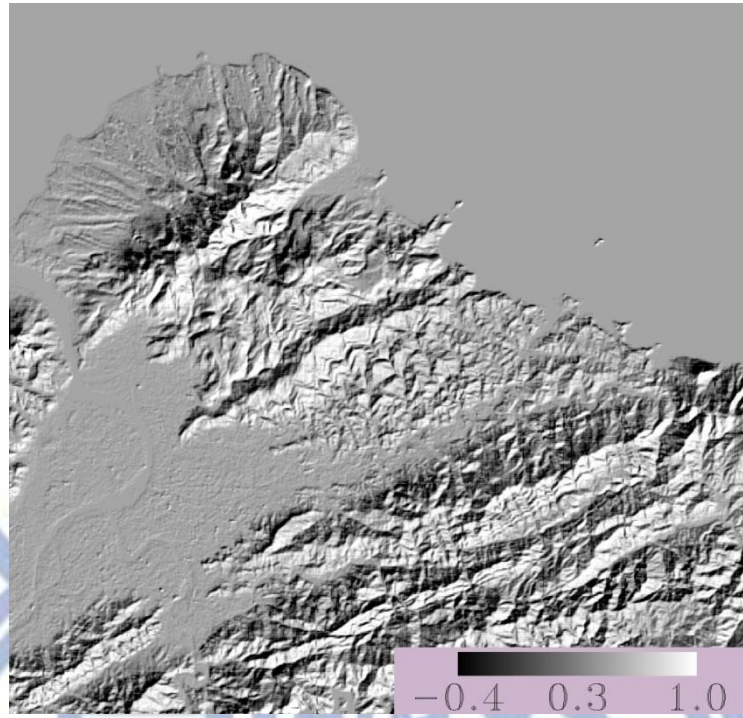


圖 4-29、2001 年 2 月 18 日陽光照射率

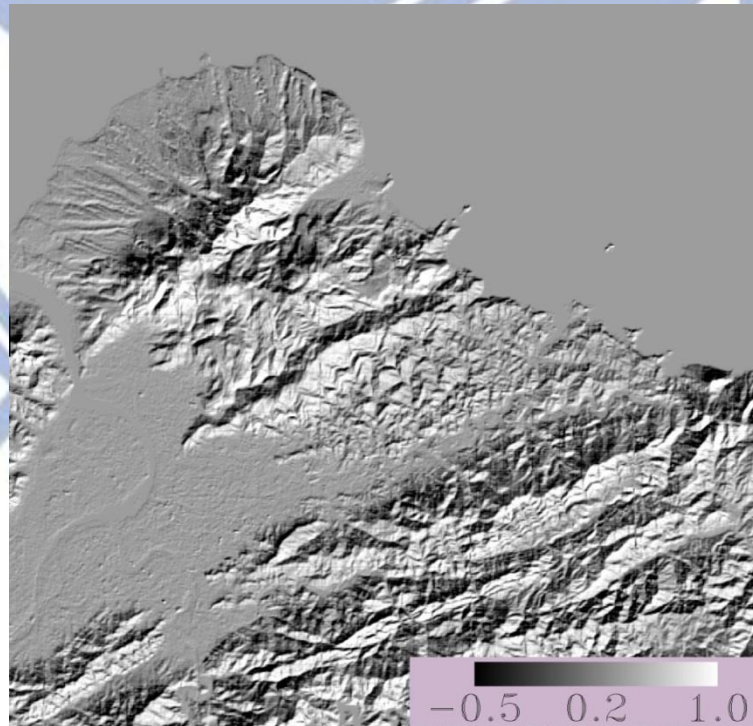


圖 4-30、同圖 4-29，但為 2001 年 12 月 3 日



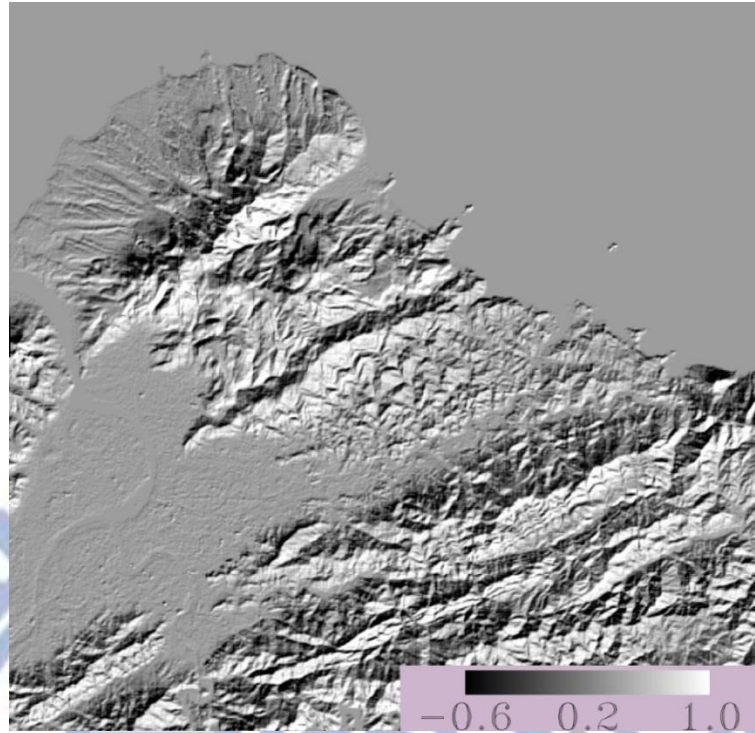


圖 4-31、同圖 4-29，但為 2002 年 1 月 4 日

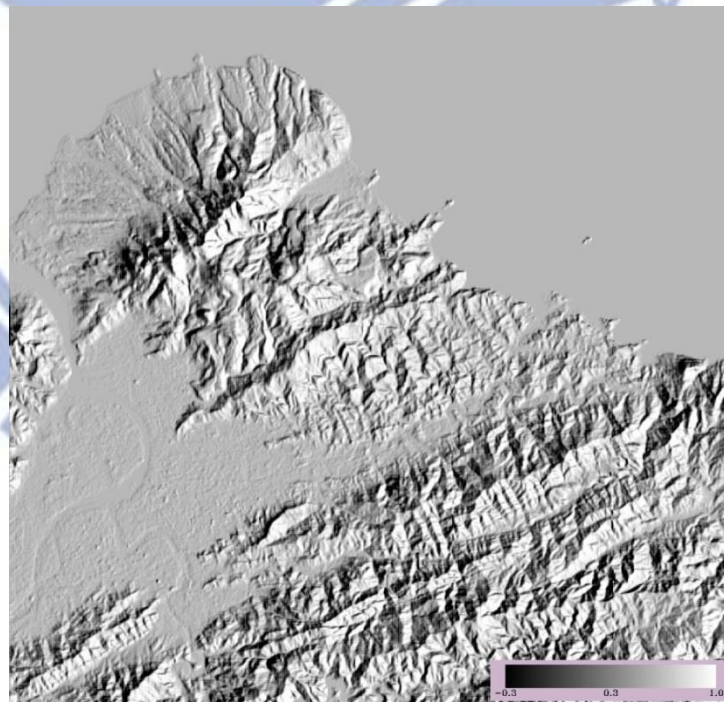


圖 4-32、同圖 4-29，但為 2002 年 8 月 24 日

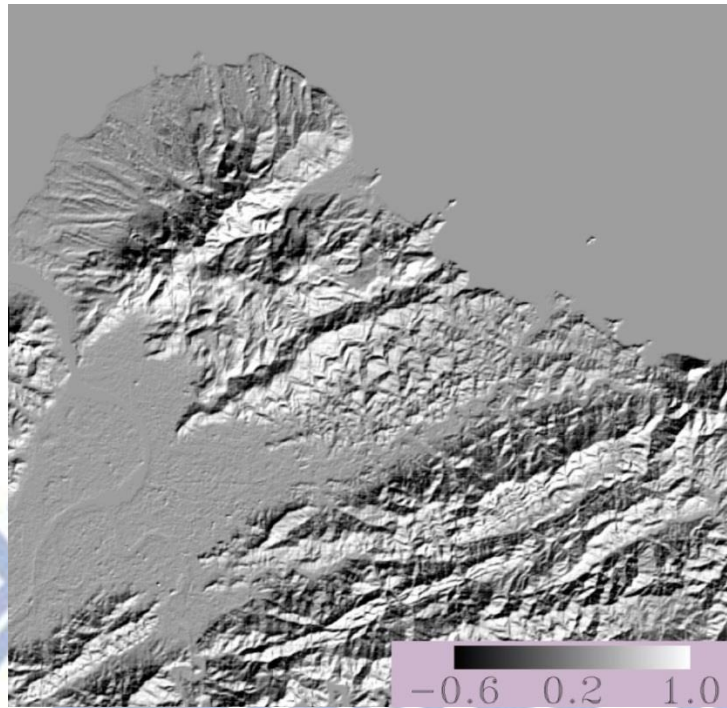


圖 4-33、同圖 4-29，但為 2002 年 12 月 6 日

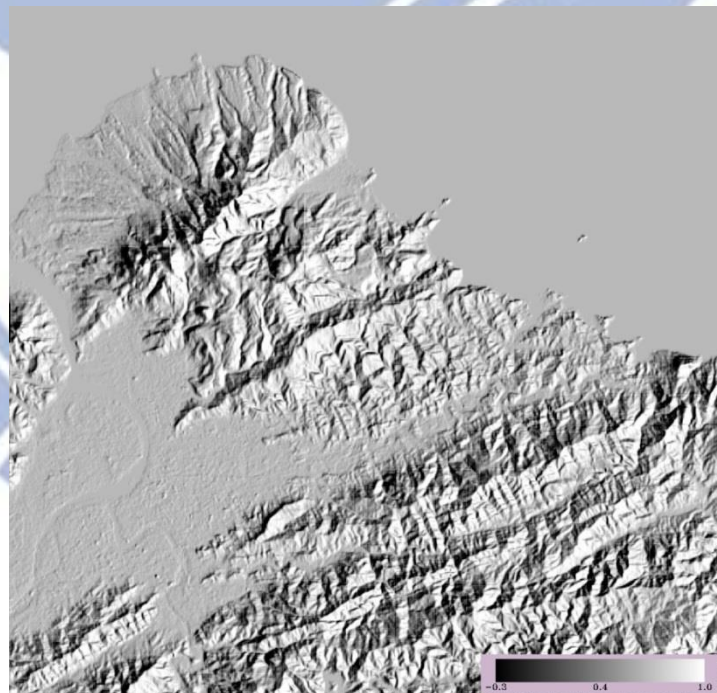


圖 4-34、同圖 4-29，但為 2003 年 8 月 27 日

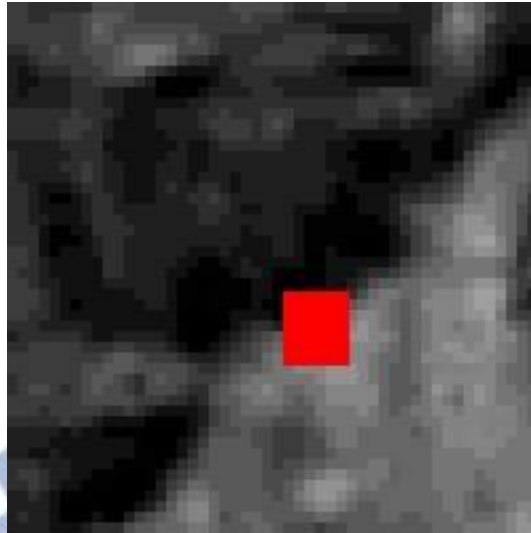


圖 4-35、陰影選取區

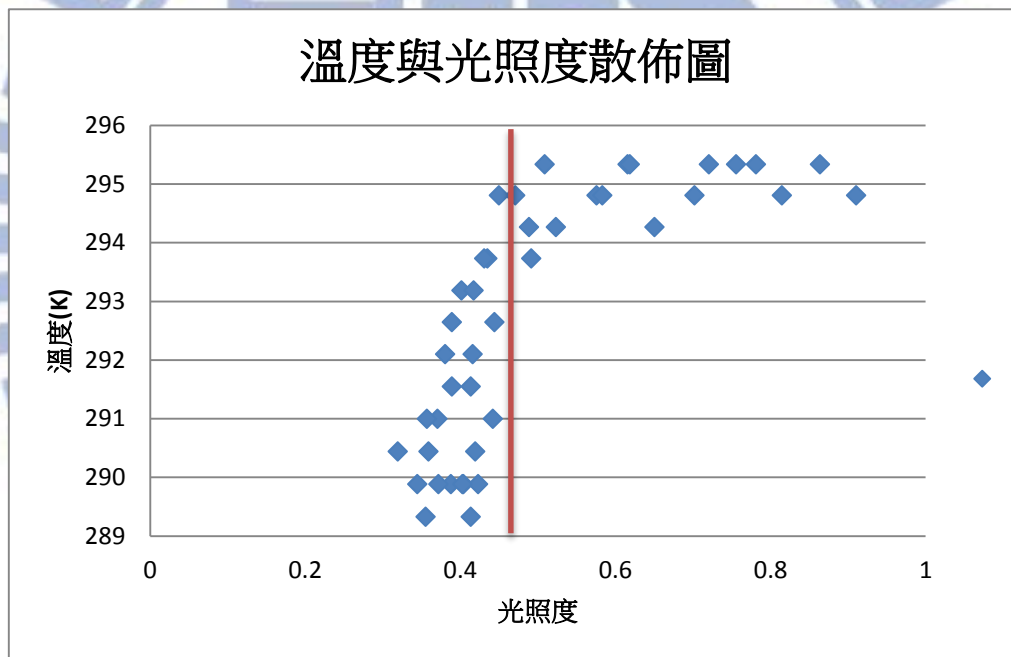


圖 4-36、溫度與光照度散佈圖

圖 4-35 為陰影選取區域，此為陰影與非陰影區之交界處，由於陰影選取區面積小，在這小區域內整體的溫度應該相差不大。但由圖 4-36 中可發現，當陰影值在 0.45 以下的區域為陰影區，此區域溫度急速下降，在 0.45 以上的陽光照射區則正常分布，正常分布區域整體最大溫差大約只有 1 度，由此可知，在陰影區域之地表溫度是無法使用的。



## 4.7 偵測火山錐位置

一般而言，在火山區或溫泉區的地熱是持續的釋放至地表，因此可假想在該區域內在冬天與夏天之間溫度變化量不會很大且為溫度偏高的地區。將四張冬天的影像與 2002 年 8 月 24 日的夏天影像，根據圖 3-18~圖 3-21 所計算出來之整張影像與基準點的差值影像如圖 4-37 至圖 4-40，配合時間上的變化，找出在影像上冬天與夏天溫度差值較小地點。將差值較小的點位交集如圖 4-41，目標點位則分布於金山斷層與崁腳斷層之間。

由於火山活動終止之後，地底下的餘熱，將使得地底下累積之蒸氣壓力增大，並在某些地點，如火山口或斷層附近爆破地面而出。本研究找出四塊較大之火山口分布位置，分別有竹子山、小觀音山、七星山與內寮山，與主要火山群位置吻合。此外，竹子山與小觀音山方向恰好座落於金山斷層上，計算結果顯示可能的地熱區分布於東北-西南走向的斷層帶區。

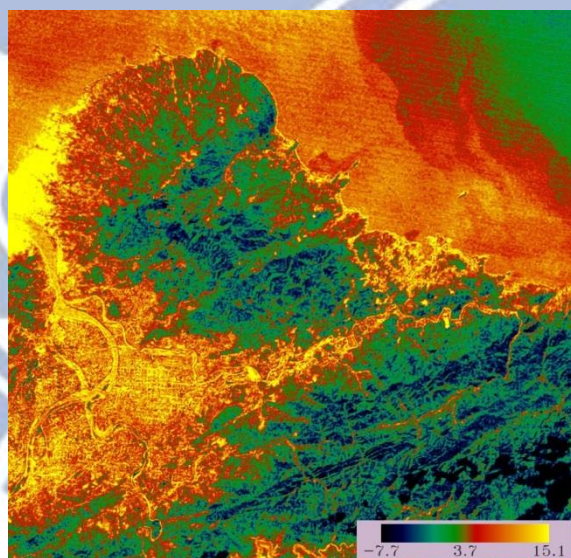


圖 4-37、2001/02/18~2002/08/24 差值

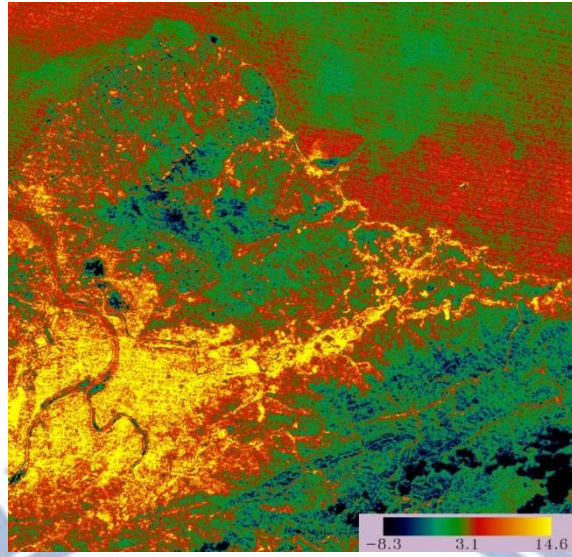


圖 4- 38、2001/12/03~2002/08/24 差值

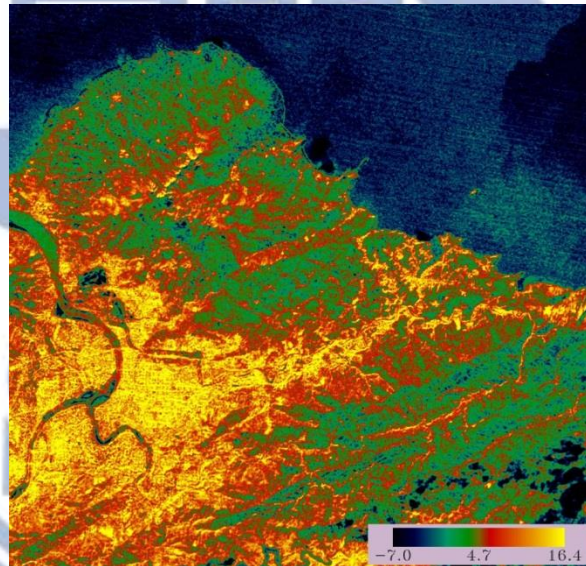


圖 4- 39、2002/01/04~2002/08/24 差值



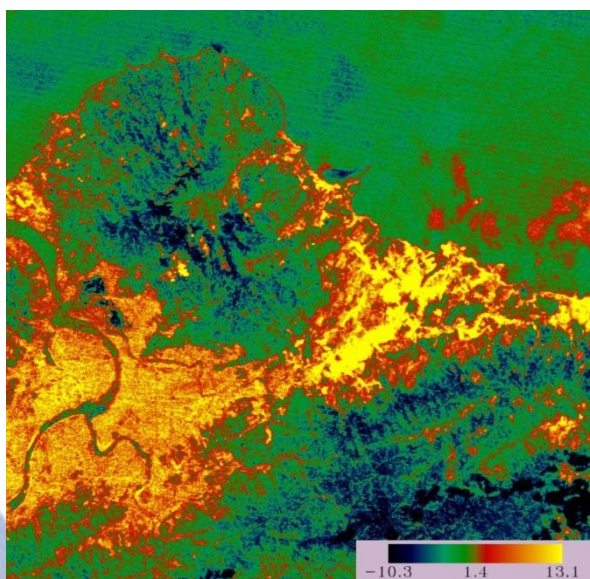


圖 4- 40、2002/12/06~2002/08/24 差值

由於火山活動終止之後，地底下的餘熱，將使得地底下累積之蒸氣壓力增大，並在某些地點，如火山口或斷層附近爆破地面而出。本研究結果呈現出 4 區較大火山口之分布位置，分別為竹子山、小觀音山、七星山與內寮山(參閱圖 4-41 中之紅色點位)，與主要火山群位置(參閱圖 2-2)相當吻合。此外，竹子山與小觀音山方向恰好座落於金山斷層上，計算結果所顯示可能的地熱區分布於東北--西南走向的斷層帶，圖 4- 41 上 4 個點對應位置分別為：

1. 竹子山
2. 小觀音山與菜公坑山
3. 七星山
4. 內寮山

上述點位之中心溫度與四周溫度分布(如圖 4-42 所示)則如表 4- 7，表中可發現冬天的時候中心位置明顯比四周溫度高，中心與四個方向的平均溫度大多數都高了 2~3 度左右，夏天時中心與四個方向的平均度則相差不大，幾乎約在 0~1 度之間，與地熱的特質非常相近。



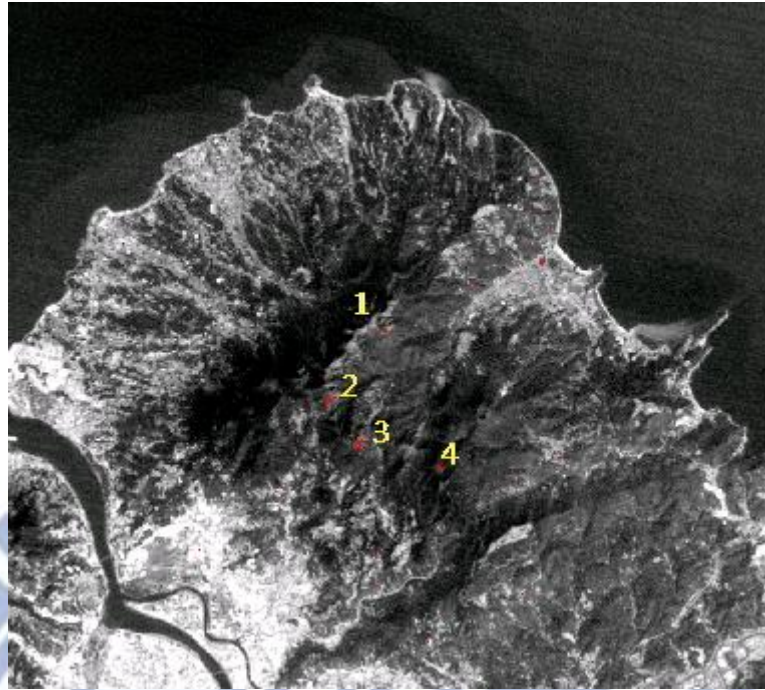
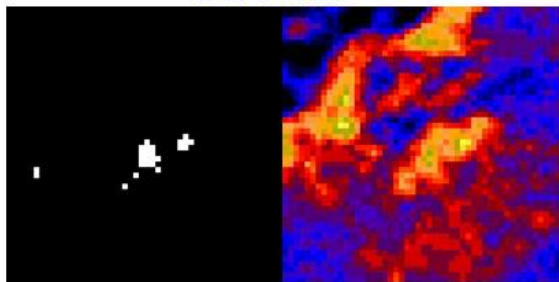
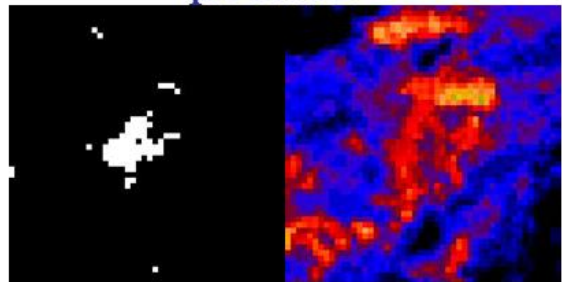


圖 4-41、冬夏溫差較小區塊(紅色)分布圖

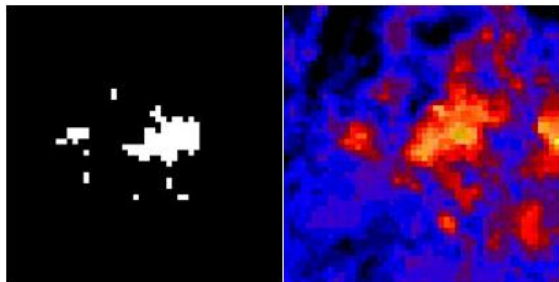
Point1



point2



Point3



point4

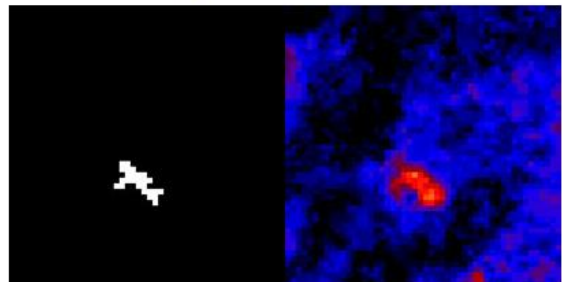


圖 4-42、四區域對應至地表溫度示意圖

表 4-7、各點位中心與四周溫度表(°C)

POINT1	中心	東	西	南	北	四方向平均	差值
20010218	295.34	294.2	292.6	293.2	293.2	293.3	2.04
20011203	298.1	297.4	296.4	296.6	295.6	296.5	1.6
20020104	293.1	290.9	289.3	289.7	289.2	289.775	3.325
20021206	299.3	296.7	297.2	296.6	296.9	296.85	2.45
20020824	297.9	299.3	297.1	297.9	298	298.075	-0.175
POINT2	中心	東	西	南	北	四方向平均	差值
20010218	296.4	295.3	293.7	294.8	294.2	294.5	1.9
20011203	296.8	295.9	296.3	296.7	295.4	296.075	0.725
20020104	292	290.4	290.7	290.9	289.7	290.425	1.575
20021206	297.2	296.7	296.9	296.8	295.7	296.525	0.675
20020824	297.5	298.8	296.6	297.1	297.5	297.5	0
POINT3	中心	東	西	南	北	四方向平均	差值
20010218	296.4	293.2	293.1	294.2	292.1	293.15	3.25
20011203	297.8	294.8	295.1	296.5	296.4	295.7	2.1
20020104	294.9	289.2	290.8	290.4	290.3	290.175	4.725
20021206	298.6	295.4	295.5	296.2	295.8	295.725	2.875
20020824	297.5	297.5	296.6	296.6	297.1	296.95	0.55
POINT4	中心	東	西	南	北	四方向平均	差值
20010218	297.4	293.7	294.2	293.7	294.3	293.975	3.425
20011203	297.6	295.3	295.2	294.2	294.8	294.875	2.725
20020104	293.7	288.3	291.5	288.5	289.3	289.4	4.3
20021206	298.6	295.3	295.5	296	295.3	295.525	3.075
20020824	298.4	297.9	297.1	297.5	297.5	297.5	0.9

## 第五章 結論與建議

本研究應用 Landsat 熱紅外衛星影像探討大台北地區地表溫度之時空分布與特性。主要以四個參數進行量化與評估，包括地表溫度(LST)、植被指數(NDVI)、水體指數(NDWI)與建物指數(NDBI)。接著藉由地表溫度的資訊找尋藉由時間序列上溫度的改變來找尋地熱明顯之位置，並比較不同地物分類與溫度之間的趨勢。整體歸納如下：

1. 由陰影分布圖與溫度分布圖可發現地表溫度的分布型態與陰影有極大的關係，陰影對於反演的溫度影響極大，當陰影值小於一定的值時，會造成溫度快速下降。但目前無法對陰影區進行有效改正，主要因為陰影區未受到太陽直接照射的加熱且部分發射能量受地形的阻隔，而無法完整地呈現。
2. 由衛星影像所反演地表溫度，可以發現與地物分類有密切關係，當都市中心時，由於地表皆為建物或裸露地，溫度較高，反之在鄉村及郊區，由於地表物大多為植被區，因此溫度相對的偏低，此差異主要為物種之比熱與發射特性所致。在都市地區的地表溫度皆高於郊區的地表溫度，整體都高於4~5度左右，尤其在夏天的部分都市區域與郊區差值更可達到8度左右，此即為都市熱島效應。
3. 地表溫度與地表物含水量呈現反比關係，當地表物含水量偏高，溫度偏低，相反當地表物的含水量不高時，則溫度偏高。
4. 整體影像溫度分布與不同季節亦息息相關，在夏天時整張影像地表溫度平均較高，在冬天時則偏低，主要與大環境有關。溫度最低的月份為1月與2月，在這兩個月份為冬天最寒冷的季節，大台北地區平均地溫大約在20°C左右，而溫度最高的則為8月份，在整張影像上整體相較起來溫度較高，平均地溫大約在27°C左右。
5. 利用不同時間點的地表溫度影像進行推算，可找出範圍較大之地熱分布區域，其分布位置與火山群位置大致吻合，分別有竹子山、小觀音山與菜公坑山、七星山、內寮山，其各點位之中心位置與四周溫度在冬天皆高了大約2~3度，應可說明地熱在地表溫度之效應。
6. 由 Landsat ETM+所反演出來的溫度與測站所測得知地表溫度大多相差在1~2度之間，除



了在台北市區的差異較大，於 2002 年 1 月 4 日相差到 6 度之多，主要與給定的發射率相關，因給定發射率純粹以植被比例，都市地區大多為裸露地及建物，因此在都市地區給的發射率都會較為偏低，造成地溫反演結果的高估。

本文主要應用衛星資料以及遙測技術為基礎進行研究，分析大台北地區地表溫度與各項參數間的關係，針對本研究有幾項可能的建議，作為後續研究之參考：

1. 在衛星影像方面，由於使用 Landsat 衛星於大台北地區的影像，其所能提供資料有限，尤其大多數的影像受到雲層覆蓋，無法進行分析，且同時使用 Landsat-5 TM 與 Landsat-7 ETM+ 影像，雖以相同演算方法進行地表溫度反演，但可能有系統性的差異存在，未來可先針對系統間進行校正，以改善系統性的誤差。
2. 目前 Landsat-8 衛星已開始持續的獲取資料，其與 Landsat-7 差異如表 5-1，但位於大台北地區目前所獲取之影像接受到雲層大面積的覆蓋，期望在未來隨著時間的增長，獲得更多不同時間的影像，能夠有更多的選擇，Landsat-8 於熱紅外頻道可提供 2 個頻道的觀測資料，可改進地表溫度反演的準確性，提升應用層級。
3. 本文所使用之衛星資料雖然涵蓋很多年，但其中間時間解析仍不足，無法在個案中深入分析，後續可針對多元資料進行整合與探討，例如結合 ASTER 的紅外頻道觀測資料。此外，不同時期影像所受當時的環境影響情況亦不相同，可與地面觀測資料進行整合，以獲取更準確之地溫訊息。

表 5-1 、Landsat-8 與 Landsat-7 波段差異對照表

Landsat-7			Landsat-8		
Band Name	Bandwidth ( $\mu\text{m}$ )	Resolution (m)	Band Name	Bandwidth ( $\mu\text{m}$ )	Resolution (m)
			Band 1 Coastal	0.43 – 0.45	30
Band 1 Blue	0.45 – 0.52	30	Band 2 Blue	0.45 – 0.51	30
Band 2 Green	0.52 – 0.60	30	Band 3 Green	0.53 – 0.59	30
Band 3 Red	0.63 – 0.69	30	Band 4 Red	0.64 – 0.67	30
Band 4 NIR	0.77 – 0.90	30	Band 5 NIR	0.85 – 0.88	30
Band 5 SWIR 1	1.55 – 1.75	30	Band 6 SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Band 7 SWIR 2	2.09 – 2.35	30	Band 7 SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Band 8 Pan	0.52 – 0.90	15	Band 8 Pan	0.50 – 0.68	15
			Band 9 Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 6 TIR	10.40 – 12.50	60	Band 10 TIRS 1	10.6 – 11.19	100
			Band 11 TIRS 2	11.5 – 12.51	100

## 參考文獻

- 易佳、田永中、高陽華、朱莉芬、鐘燕林，2008，基於 RS 的山地城市熱島效應與其土地覆被變化關係研究-以重慶市主城區為例，雲南師範大學學報，第 28 卷第 6 期。
- 徐涵秋，2007，基於影像 Landsat TM/ETM+數據正規化技術，武漢大學學報，第 32 卷，第一期
- 楊志成、劉進金、黃明哲、陳文山，2004，利用數值地形分析探討大屯火山群火山地形，航測及遙測學刊，第九卷，第二期，第 1-8 頁。
- 陳文山、楊志成、楊小青、劉進金、詹瑜璋、謝凱旋、謝有忠，2007，從 LiDAR 的 2 公尺\*2 公尺數值模擬地形分析大屯火山群，經濟部中央地質調查所彙刊，第二十號，第 101~128 頁。
- 陳錕山，2002，綠資源 NDVI 調查計畫成果報告書，國立中央大學太空及遙測研究中心。
- 蔡志申，2011，黑體輻射研界歷程，國科會高瞻自然科學教學資源平台。
- 嚴綾，2012，應用衛星資料探討大台北地區都市熱島效應之時空分布，國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
- Barsi, J.A., J.L. Barker, J.R. Schott., 2003, An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument. IGARSS03, 21-25 July 2003, Centre de Congres Pierre Baudis, Toulouse, France.
- Becker, F. and Z. L. Li. 1990. Towards a local split window method over land surfaces. *Int. J. Remote Sensing*, 11:369-393.
- Bhattacharya, B. K., and Dadhwal, V. K., 2003, Retrieval and validation of land surface temperature (LST) from NOAA AVHRR thermal images of Gujarat, India, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 6, 1197-1206.
- Coll, C., Galve, J.M., Sánchez, J.M. and Caselles, V., 2010, Validation of Landsat-7/ETM+Thermal-Band Calibration and Atmospheric Correction With Ground-Based Measurements”, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 48, no. 1, pp.547–555, Jan.



- Coolbaugh, M.F., Kratt, C., Fallacaro, A., Calvin, W.M. and Taranik, J.V., 2007, Detection of geothermal anomalies using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA, *Remote Sensing of Environment* 106,350–359.
- ERDAS Worldwide Headquarters, 1999, ERDAS Field Guide Fifth Edition <http://www.gis.usu.edu/manuals/labbook/erdas/manuals/FieldGuide.pdf>
- Grant, P., 2006, *A First Course in Atmospheric Radiation*, Atmospheric And Ocean Sciences University of Wisconsin-Madison
- Griend, A.A. van de. and Owe, M., 1993, On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 14, pp. 1119-1131.
- ITT, 2008. Getting Started with ENVI, ITT Visual Information Solutions, [http://sismologia.ist.utl.pt/~sismologia.daemon/files/Getting\\_Started\\_with\\_ENVI.pdf](http://sismologia.ist.utl.pt/~sismologia.daemon/files/Getting_Started_with_ENVI.pdf), last accessed on 2013/07/23.
- Lo, C. P. and Quattrochi, D. A., 2003. Land-use and Land-cover Change, Urban Heat Island Phenomenon and Health Implications: A Remote Sensing Approach. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, No.9, pp1053-1063.
- Mao, K., Qin, Z., Shi, J. and Gong, P., 2005, A practical split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from MODIS data, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26, no. 15, pp. 3181-3204.
- To, P.H., Nichol, J., Tse, R., 2011, Temporal Characteristics of Thermal Satellite Images for Urban Climate Study, JURSE, Joint Urban Remote Sensing Event.
- Weng, Q., Lu, D. and Schubring, J., 2004, Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 89, No. 4.