

結合遙測與多變數分析雪霸國家公園
生態系特徵成果報告

雪霸國家公園管理處委託辦理計畫

中華民國九十八年二月

結合遙測與多變數分析雪霸國家公園 生態系特徵

受委託者：國立嘉義大學森林暨自然資源學系

研究主持人：林金樹

研究人員：劉哲瑋、林鴻志、林俊雄、楊旻憲

雪霸國家公園管理處

委託辦理計畫 成果報告

中華民國九十八年二月

目次

表次	V
圖次	VI
摘要	VIII
第一章、緒論	1
第一節、研究緣起與背景	1
第二節、研究目的	1
第二章、研究材料	3
第一節、研究地區概述	3
第二節、衛星影像及數值地形資料介紹	4
一、衛星影像	4
(一)、Landsat-7 ETM+	4
(二)、SPOT-5	6
(三)、IKONOS	8
二、數值地形模型	9
第三章、研究方法	10
第一節、研究流程	10
第二節、生態單元架構之規劃	10
第三節、影像前期處理	11
一、影像疊合	11
二、幾何糾正	11
三、大氣糾正	12
第四節、光譜植生指標	12
一、氣溶膠除去植生指標	12
二、紅外線植生指標	12
三、規整差植生指標	13
四、改進簡單比植生指標	13
五、土壤修正植生指標	13

六、簡單比植生指標.....	14
第五節、植生及環境因子.....	14
一、海拔.....	14
二、坡度.....	14
三、坡向.....	15
四、全天光空域.....	15
五、葉面積指數.....	15
第六節、影像分類及準確度評估.....	15
一、集群分類法.....	16
二、最大概似法.....	17
三、倒傳遞類神經網路分類法.....	18
四、複邏輯迴歸模式分類法.....	19
五、準確度評估.....	19
第七節、園區地類變遷分析.....	20
一、園區整體變遷.....	20
二、七家灣溪流域變遷資訊.....	20
第四章、結果與討論.....	21
第一節、大氣糾正結果.....	21
一、IKONOS 大氣糾正結果.....	21
二、Landsat-ETM 大氣糾正結果.....	21
三、SPOT-5 大氣糾正結果.....	22
第二節、植生指標及環境因子圖層建置.....	23
一、植生指標.....	23
(一)、氣溶膠去除植生指標.....	23
(二)、紅外線植生指標.....	24
(三)、規整差植生指標.....	24
(四)、改進簡單比植生指標.....	25
(五)、土壤修正植生指標.....	25
(六)、簡單比植生指標.....	26

二、環境因子圖層	26
(一)、海拔	26
(二)、坡向	27
(三)、坡度	27
(四)、全天光空域	28
(五)、葉面積指數	28
第三節、生態單元架構圖	29
第四節、園區主要地類之光譜特徵	30
一、IKONOS 光譜特徵分類結果	30
二、Landsat 光譜特徵分類結果	31
三、SPOT-5 影像光譜特徵分類結果	32
第五節、生態單元影像分類結果之評估	33
一、IKONOS 影像分類結果之評估	33
(一)、大氣糾正後之波段分類	33
(二)、加入植生指標以及環境因子後之分類結果	34
(三)、分類結果圖	35
二、Landsat 影像分類結果之評估	37
(一)、大氣糾正後之波段分類	37
(二)、加入植生指標以及環境因子後之分類結果	37
(三)、分類結果圖	38
三、SPOT-5 衛星影像分類結果之評估	40
(一)、大氣糾正後之波段分類	40
(二)、加入植生指標以及環境因子後之分類結果	41
(三)、分類結果圖	42
第六節、辛樂克颱風前後期地類之變遷	44
一、園區整體變遷資訊	44
(一)、辛樂克颱風前後規整差植生指標	44
(二)、辛樂克颱風前後 SAVI 植生指標圖	45
(三)、辛樂克颱風前後 LAI 指數	45

二、七家灣溪流域變遷資訊.....	46
第五章、結論與建議.....	49
參考文獻.....	51
附錄一 LANDSAT MLR 法求出之迴歸公式.....	53
附錄二 SPOT-5 MLR 法求出之迴歸公式.....	59

表次

表 1	Landsat-7 衛星影像波譜範圍	5
表 2	SPOT-5 衛星影像波譜範圍	6
表 3	IKONOS 衛星影像波譜範圍	8
表 4	分類編號代碼意義一覽表	30
表 5	IKONOS 大氣糾正後 4 個波段分類準確度評估表	34
表 6	引入植生指標以及環境因子等波段分類準確度評估表	34
表 7	Landset 大氣糾正後 6 波段分類準確度評估表	37
表 8	引入植生指標以及環境因子等波段分類準確度評估表	38
表 9	SPOT-5 大氣糾正後 4 波段分類準確度評估表	41
表 10	引入植生指標以及環境因子等波段分類準確度評估表	41

圖次

圖 1	雪霸國家公園位置圖	4
圖 2	台灣中北部地區 Landsat 影像	5
圖 3	Landsat 衛星外貌	5
圖 4	園區 SPOT 5 衛星影像(2008.02.21)	7
圖 5	園區 SPOT 5 衛星影像(2008.09.21)	7
圖 6	SPOT 衛星外貌	7
圖 7	IKONOS 衛星外貌	9
圖 8	IKONOS 疊合影像	9
圖 9	雪霸國家公園數值高程模型	10
圖 10	植群生態類型特徵分析研究流程圖	10
圖 11	全天光空域空域與地形遮蔽之影響圖	15
圖 12	最大概似法判別說明圖	17
圖 13	倒傳遞類神經網路架構	19
圖 14	辛樂克颱風對裸露地之影響研究流程圖	20
圖 15	雪霸國家公園區域 IKONOS 影像(左)及經大氣糾正影像(右)	21
圖 16	雪霸國家公園區域 Landset 影像(左)及經大氣糾正影像(右)	22
圖 17	植生(綠)水體(黑)及裸露地(藍)原始影像(左)及大氣校正後(右)光譜特徵曲線比較	22
圖 18	雪霸國家公園區域 SPOT-5 颱風前影像(左)及經大氣糾正影像(右)	23
圖 19	雪霸國家公園區域 SPOT-5 颱風後影像(左)及經大氣糾正影像(右)	23
圖 20	Landsat(左)及 SPOT-5(右)影像之 AFRI 圖	24
圖 21	Landsat (左)及 SPOT-5(右)影像之 II 圖	24
圖 22	Landsat (左)、SPOT-5(中)及 IKONOS(右)影像之 NDVI 圖	25
圖 23	Landsat (左)及 SPOT-5(右)影像之 RSR 圖	25
圖 24	Landsat (左)、SPOT-5(中)及 IKONOS(右)影像之 SAVI 圖	25
圖 25	Landsat (左)、SPOT-5(中)及 IKONOS(右)影像之 SR 圖	26
圖 26	海拔分級圖	26
圖 27	坡向圖	27

圖 28	坡度分級圖	27
圖 29	全天光空域	28
圖 30	Landsat(左)及 SPOT-5(右)影像之 LAI 圖	28
圖 31	原始分類樣本(左)與樣本擴展後(右)分布圖(上到下依序為群系、群團以及群叢)	29
圖 32	IKONOS 影像各階層分類光譜特徵圖	31
圖 33	Landsat 影像各階層分類光譜特徵圖	32
圖 34	SPOT-5 影像各階層分類光譜特徵圖	33
圖 35	IKONOS 二種分類方法於群系生態單元之分類結果圖	35
圖 36	IKONOS 二種分類方法於群團生態單元之分類結果圖	36
圖 37	IKONOS 二種分類方法於群叢生態單元之分類結果圖	36
圖 38	Landsat ETM+三種分類方法於群系生態單元之分類結果圖	39
圖 39	Landsat ETM+三種分類方法於群團生態單元之分類結果圖	39
圖 40	Landsat ETM+三種分類方法於群叢生態單元之分類結果圖	40
圖 41	SPOT-5 三種分類方法於群系生態單元之分類結果圖	42
圖 42	SPOT-5 三種分類方法於群團生態單元之分類結果圖	43
圖 43	SPOT-5 三種分類方法於群叢生態單元之分類結果圖	43
圖 44	辛樂克颱風前期 NDVI 圖(左)以及後期 NDVI 圖(右)	44
圖 45	辛樂克颱風前後期 NDVI 影像相減圖(後期減前期)	45
圖 46	辛樂克颱風前後期 SAVI 影像相減圖(後期減前期)	45
圖 47	辛樂克颱風前後期 LAI 影像相減(後期減前期)	46
圖 48	七家灣溪流域森林地表被覆圖	46
圖 49	辛樂克颱風前(左)後(右)七家灣溪流域葉面積指數圖	47
圖 50	七家灣溪流域裸露地變遷分析圖	47
圖 51	2001 年至 2008 年 2 月葉面積指數變遷分析圖	48

摘要

本研究利用 IKONOS、Landsat 以及 SPOT5 三種衛星，整合光譜植生指標 (AFRI、II、NDVI、RSR、SAVI、SR) 以及地形及植生因子 (數值高程模型、坡度、坡向、全天光空域及 LAI)，以監督式的最大概似法 (MLC)、倒傳遞類神經分類法 (BPN) 以及多元邏輯氏迴歸分析法 (MLR)，探討利用衛星影像於雪霸國家公園植群生態單元的分類效能。植群生態單元區劃為群系 (Formation)、群團 (Alliance)、群叢 (Association)；植群類型之命名，先採用以重要值 (importance value index, IVI) 所認定之優勢種 (dominant species) 及忠誠度 (royalty) 所認定之特徵種 (characteristic species) 聯合判定。

研究結果顯示，光譜植生指標、地形因子及地表葉面積指數確實有助於提升植群生態單元的分類準確度。IKONOS 影像以 BPN 法所得準確度較佳，對於群系、群團、群叢三者的分類準確度依序為 72%、65%、47%；Landsat 7 ETM 影像則以 MLC 法較佳，分別對於三種植群生態單元的分類準確度依序為 90%、90%、86%；SPOT 5 MSS 影像的分類結果也是以 MLC 法為佳，各可得到 85%、80%、79% 的分類準確度。

關鍵詞：植群生態單元、衛星遙測、光譜特徵、監督式分類

ABSTRACT

This study used the multispectral images of IKONOS, Landsat ETM, and SPOT to investigate spectral characteristics of vegetation in respect to the hierarchical infrastructure in Sheipa National Park. Vegetation infrastructure was determined as Formation, Alliance, and Association according to dominant species and characteristic species which were recognized by importance value index (IVI) and royalty respectively. We integrated spectral vegetation indices, terrain models, and leaf area index as a dimensionality expanded image for vegetation mapping. Spectral vegetation indices used are aerosol free vegetation index (AFRI), infrared index (II), normalized difference vegetation index (NDVI), reduced simple ratio (RSR), soil adjusted vegetation index (SAVI) and simple ratio (SR); meanwhile terrain models used are elevation, slope, aspect, and skyview. Multiple statistics based techniques such as maximum likelihood classifier (MLC), multi-logistics regression method (MLR), and a neural network technique (back propagation neural, BPN) were applied for vegetation mapping.

Results demonstrated that spectral indices, terrain factors and LAI are able to enhance the performance of vegetation mapping. Best results approached in the IKONOS dataset was determined by BPN algorithm and the overall accuracy (OA) is 72%, 65%, and 47% for Formation, Alliance, and Association, respectively. In the Landsat 7 dataset, MLC method reached a better accuracy. OA are 90% for Formation and Alliance, and 86% for Association. Compared to the prelisted two datasets, SPOT images have a medium performance in mapping the proposed three-level vegetation with overall accuracies of 85%, 80%, and 79% for Formation, Alliance, and Association. Multi-logistic regression method seemed to hardly approach a better result of vegetation distribution map. MLC method is relatively stable among the methods used in this study.

Keywords: Vegetation ecological unit, satellite remote sensing, spectral characteristic, supervised classification

第一章、緒論

第一節、研究緣起與背景

雪霸國家公園為台灣中高海拔生態系之典型代表，過往傳統的植群生態調查分析，多採用地面樣區調查，並依據少數的小塊樣區觀測環境因子資料加以分析，若能結合遙感探測(Remote Sensing, RS)、地理資訊系統(Geographical Information System, GIS)、多變量統計(Multivariate Statistics)將可從大尺度、不同面向來探究園區之生態類型與特徵。雪霸國家公園管理處目前已累積相當豐富之地面樣區調查、環境估測資料、衛星遙測影像等資料，初步可達整合分析之階段。本計畫擬以多變數統計分析技術為基礎，整合遙測以及環境與資源等有關的圖層資料，分析出雪霸國家公園的生態系特徵，以做為環境教育解說、經營管理及相關科學研究之基礎。

雪霸國家公園位處台灣中北部山區，行政區隸屬新竹縣、苗栗縣以及台中縣，主要分佈於尖石鄉、五峰鄉、泰安鄉以及和平鄉等四個鄉，海拔分佈介於 700 公尺-3886 公尺，全區面積 76850 公頃，森林被覆完整，植物資源非常豐富，由植物氣候地理學觀點，雪霸國家公園森林涵蓋亞熱帶楠櫨林帶、暖溫帶櫟林帶、涼溫帶鐵杉冷杉林帶以及亞寒帶高山植群帶(林永發等，1990)。歷年來，有關雪霸國家公園境內森林植群調查研究成果豐富，累積許多的地面調查樣區植生資料，例如歐辰雄等(2006、2007)探討植群分類以及空間分佈、楊國禎等(2007)調查東北區外檜木林分佈與物種組成、呂金誠等(2007)調查分析尖石地區植群生態與檜木林結構、陳子英等(2007)調查大同地區有勝溪流流域植群、陳明義及施纓煜(1997)對雪山地區植群的研究等等，也利用地理資訊系統技術建立了有關植群調查的資料庫(周天穎等，2001、2002、2003；林永發等，2001；逢甲大學 GIS 中心，2007)。這些豐富的調查資料與資料庫形成一個非常理想的基礎，可以提供我們分析建立雪霸國家公園生態系的植群分佈與環境因子關係的生態系特徵，有利國家公園生態旅遊與環境資源保育等解說教育之應用。

第二節、研究目的

對於國家公園龐雜的森林植群資料，必須建構一個簡易清晰的生態植群架構，方能期待利用遙測資料整合環境因子資料，繪製國家公園生態系的植群與環境特徵。美國國家公園署(the National Park Service, NPS)於 1992 年推動調查與監測計畫(Inventory and Monitoring Program, I&M)，計畫目標在開發監測評估國家公園自然資源的方法以及建立一

套標準的作業規範(protocols)，而為建立轄管的 270 餘個國家公園高品質的植群圖，自 1996 年開始與地質調查署(the United States Geological Survey, USGS)聯合推動「國家公園植群製圖計畫」(Vegetation Mapping Program, VPM)，每年以 100 萬美元以上的經費投入該計畫。早期 VPM 計畫透過大量的航空照片判釋及人工描繪的方法，約需 2-5 年才能完成一個調繪完成國家公園植群圖，估計約需 50 年的作業時間才能 VPM 計畫，因此利用空間大尺度以及時間高重複性的衛星資料，繪製國家公園植群圖，才能達到效率與經濟目標，並縮短全國所有國家公園植群圖製作時程。

第二章、研究材料

第一節、研究地區概述

雪霸國家公園於八十一年七月一日成立，是台灣第五座國家公園，位於台灣中北部，屬高山型國家公園。園區以雪山山脈為主軸，範圍涵括了新竹縣五峰鄉和尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、台中縣和平鄉，總面積達 76,850 公頃。園區內地形錯綜複雜，景色氣象萬千，高峰溪流景觀更是雄偉壯麗，同時蘊涵完整豐富的動植物及人文資源，是一個進行深度旅遊、寓教於樂的大自然戶外教室。

雪霸國家公園東自邊古巖山起，向南經喀拉業山、羅葉尾山、武佐野群山至大甲溪谷。南沿大甲溪而下，至志樂溪會合處沿陵線經宇羅尾山至三錐山。西至三錐山起向北，經小雪山、南坑山、盡尾山、東洗水山、北坑山接樂山。北自樂山起向東，經觀霧、高嶺、境界山、南馬洋山至邊古巖山。

雪霸國家公園地形以高山及河谷為主。全區高山林立、如大霸尖山、武陵四秀(品田山、池有山、喀拉業山、桃山)、雪山、志佳陽大山、大劍山、頭鷹山、大雪山等高度均在 3,000 公尺以上，其中雪山為雪山山脈最高峰，是台灣第二高峰。而大霸尖山素有「世紀奇峰」之稱，山容壯麗。其他的地形景觀如大甲溪峽谷地形、佳陽沖積扇與河階地形、環山地區環流丘地形、德基地區肩狀平坦陵地形、河川襲奪等。

植物資源方面，本區內有維管束植物 1,105 種，稀有植物 61 種，如台灣山薺、高雄柳、棟蓁華鳳仙花(世界僅產於此)、南湖柳葉菜、菅草蘭、松葉蘭等。另外翠池之玉山圓柏林是全台此類森林面積最大的，雪山主峰下之冷杉林及觀霧僅有之台灣檫樹純林極具保存價值。

雪霸國家公園之動物資源甚為豐富，發現有 56 種哺乳類動物，151 種鳥類，37 種爬蟲類，16 種兩生類，17 種淡水魚及 170 種蝴蝶，其中彌足珍貴的瀕臨絕種之動物如櫻花鉤吻鮭、台灣黑熊、帝雉、山椒魚及升天鳳蝶等。其中櫻花鉤吻鮭是全世界僅有的陸封型鮭魚，同時也是世界分布之最南緣的鮭魚，目前僅存於雪霸國家公園之大甲溪上游，更顯示其珍貴，而被譽為台灣國寶魚之首。目前業於七家灣溪兩側地區劃定為「櫻花鉤吻鮭生態保護區」，積極進行保育及復育工作。

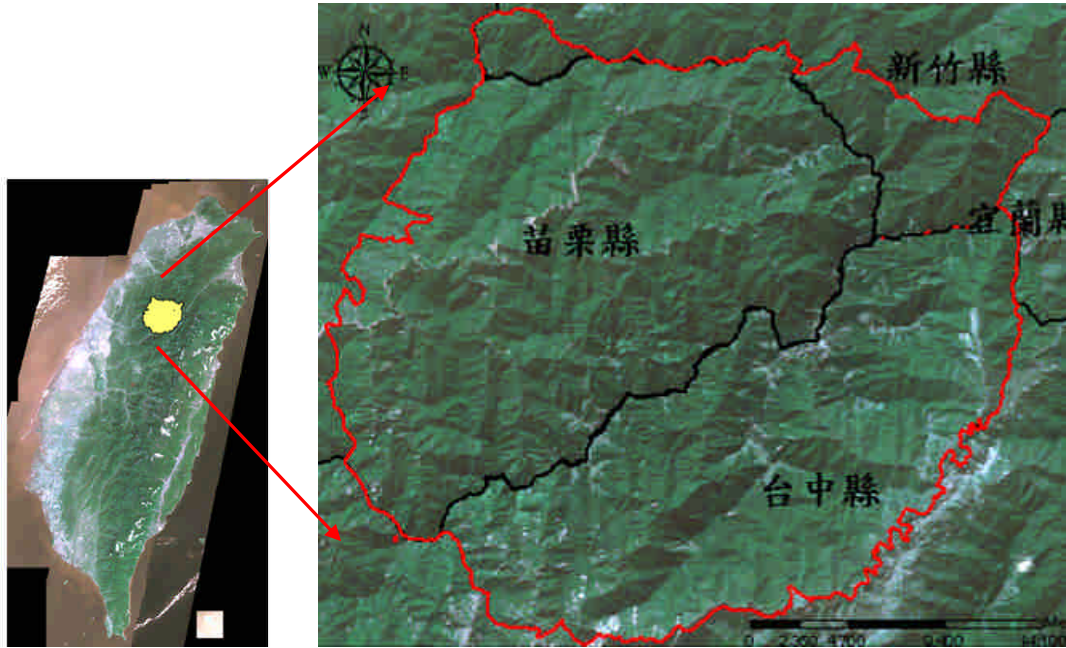


圖 1 雪霸國家公園位置圖

第二節、衛星影像及數值地形資料介紹

研究材料包含了 3 種衛星影像及數值高程模型，衛星影像分別為 Landsat-7 ETM+、SPOT-5 及 IKONOS 等衛星所拍攝的影像。

一、衛星影像

(一)、Landsat-7 ETM+

Landsat 衛星全球共有 233 個軌道，以 Landsat 所定義之全球參考系統(World Reference System, WRS)表示，定為 Path/Row 座標系統，台灣地區地理位置約為 Path:117-118, Row: 42-45 之間。Landsat-7 掃瞄地表每一像幅(Scene)約 185 公里*170 公里，平均掃瞄一個像幅約費時 26.31 秒，其掃瞄視野角(FOV)為 14.7°，相當於地面 185 公里幅寬，提供使用者大範圍面積監測與分析需求，可應用於大環境監測使用。

Landsat-7 ETM+共有 8 個波段，其中波段 8 為全色態影像(0.5~0.9 μm)，具有 15 公尺之空間解析度，波段 1(藍光段，0.45~0.52 μm)、波段 2(綠光段，0.52~0.60 μm)、波段 3(紅光段，0.53~0.69 μm)為可見光波段，與波段 4(近紅外光段，0.76~0.90 μm)、波段 5(近紅外光段，1.55~1.75 μm)、波段 7(近紅外光段，2.08~2.35 μm)為近紅外光段，其空間解析度為 30 公尺，而波段 6 為熱紅外光，感測範圍在 10.4~12.5 μm ，空間解析度則為 60 公尺。本研究係採用 Landsat-7 ETM+衛星影像，其空間解析度為 30 公尺，其影像取得時間為台灣時間 2001 年 3 月 6 日 10 點 11 分 51 秒(格林威治時間為 2 時 11 分 51 秒)。

表 1 Landsat-7 衛星影像波譜範圍

影像類別	波段	波長(microns)	空間解析度(m)
Landsat-7 ETM+	波段 1(藍光段)	0.45-0.52	30
	波段 2(綠光段)	0.52-0.60	30
	波段 3(紅光段)	0.63-0.69	30
	波段 4(近紅外光段)	0.76-0.90	30
	波段 5(近紅外光段)	1.55-1.75	30
	波段 6(熱紅外光段)	10.40-12.50	60
	波段 7(近紅外光段)	2.08-2.35	30
	PAN 全光譜段	0.50-0.90	15

(資料來源：中大太空及遙測研究中心)



圖 2 台灣中北部地區 Landsat 影像



圖 3 Landsat 衛星外貌

(二)、SPOT-5

SPOT-5 衛星影像為法國所屬資源衛星，該號衛星於 2002 年 5 月 4 日發射升空，平均航高為 822 公里有 3 種光學儀器分別為兩個 HRG、VI 以及 HRS。其中 VI 與 SPOT-4 相同，而每一個 HRG 儀器分別擁有兩個全光譜影像(HM)、一個多光譜影像(HI)以及一個短波紅外線波段(SWIR)影像。其中，HM 有 12000 個 CCD 空間解析度為 5 公尺，HI 有 6000 個 CCD 空間解析度為 10 公尺，而 SWIR 則有 3000 個 CCD 空間解析度為 20 公尺。若利用兩組 HRG 感測器同時拍攝 HM 資料，再經過影像融合處理可以提昇其空間解析度到 2.5 公尺，稱為超解像模式(Supermode)影像，而像幅寬度仍維持為 60 公里，是目前中高解析度衛星中，幅寬最廣之衛星資料。此外，在定位精度方面，SPOT-5 衛星利用 Start Tracker 與 DORIS 系統進行姿態與軌道位置之定位，在未使用地面控制點且為平坦地形之絕對定位精度已可提高到 50 公尺。另外，HRS 為立體觀測感測器，專為製作數值地形模型而設計，其拍攝範圍為 120 公里(寬) *600 公里(長)，拍攝方式為同軌立體，以便獲取相同大氣狀況之立體影像。本研究所使用的 SPOT-5 衛星影像為多光譜影像及超解像模式影像兩種影像的空間解析度各為 10 公尺與 2.5 公尺。多光譜影像所感測的 4 個波段分別為綠光段(0.5~0.59 μm)、紅光段(0.61~0.68 μm)、近紅外光段(0.78~0.89 μm)及短波紅外光段(1.58~1.75 μm)；超解像模式僅有一波段，是為黑白態影像，感測範圍在 0.49~0.69 μm 。

表 2 SPOT-5 衛星影像波譜範圍

影像類別	波段	波長(microns)	空間解析度(m)
全色態影像 (Panchromatic)	全光譜段	0.48 - 0.71	2.5
	波段 1(綠光段)	0.50 - 0.59	10
多光譜影像 (Multi-Spectral)	波段 2(紅光段)	0.61 - 0.68	10
	波段 3(近紅外光段)	0.79 - 0.89	10
	波段 4(中紅外光段)	1.51 - 1.75	10

(資料來源：中大太空及遙測研究中心)

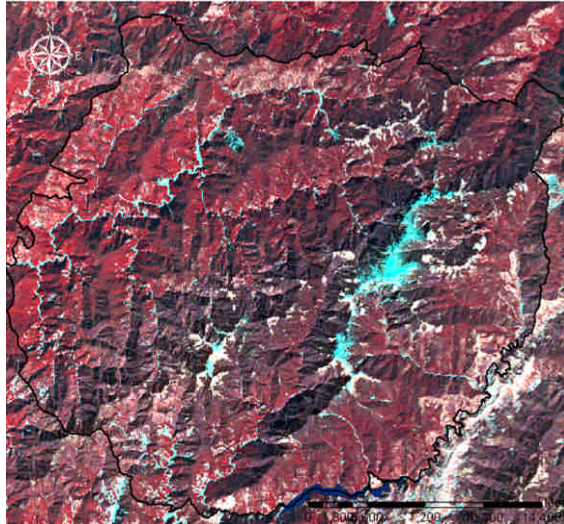


圖 4 園區 SPOT-5 衛星影像(2008.02.21)

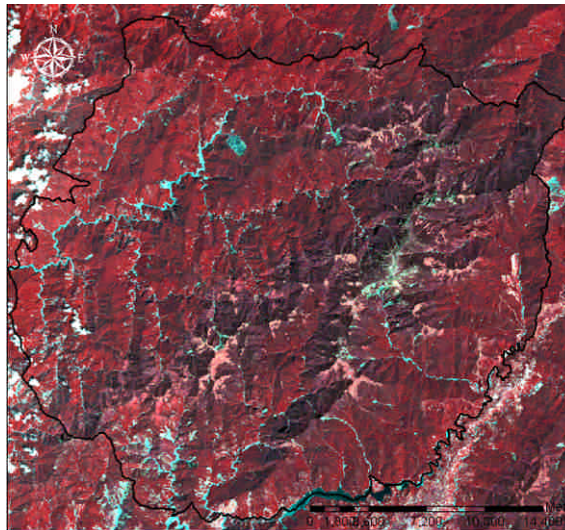


圖 5 園區 SPOT-5 衛星影像(2008.09.21)

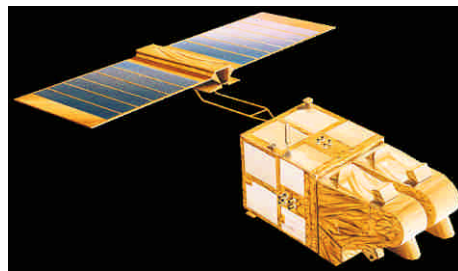


圖 6 SPOT 衛星外貌

研究中使用的 SPOT-5 衛星拍攝時間分別約為台灣地方時間 2008 年 2 月 21 日上午 10 點 25 分(格林威治時間為 2 時 25 分 2.407 秒) , 以及台灣地方時間 2008 年 9 月 21 日上午 10 點 25 分(格林威治時間為 2 時 25 分 35.553 秒)。

(三)、IKONOS

美國 Space Imaging 於 1999 年 9 月 24 日成功發射 IKONOS 衛星。其飛行高度為 681 公里，空間解析度小於 1 公尺。IKONOS 衛星地面軌跡運行速度約為每秒 7 公里，每分鐘可拍攝超過 2000 平方公里的地面範圍。此衛星除了在全色態模式下可獲取 0.82 公尺空間解析度的資料外，還可獲取 3.28 公尺空間解析度多光譜資料(共 4 個波段)，為全球首顆提供 1 米以下解析度之商用光學衛星。IKONOS 衛星運行週期約 98 分鐘，每日繞行地球約 15 圈，採用本體旋轉同步取樣方式進行傾斜攝影，最大傾角可達 40 度，平均每 3 至 4 天可拍攝同一地點一次，因此也具有拍攝立體影像以製作數值地形模型之能力。

IKONOS 衛星裝載全色儀(PAN)及多譜儀(MSS)兩種取像感測器。PAN 感測器取得的影像稱為全色態影像(panchromatic image)亦即黑白影像，它主要感應藍光至近紅外光範圍的光譜能量，空間解像力為 1 公尺；多譜儀取得的影像稱為多光譜影像(multispectral image)，一般稱為彩色影像，也是感應藍色光至近紅外光範圍的光譜能量，但是利用分光器可得四個獨立波段的影像，空間解像力為 4 公尺(表 3)。利用影像融合技術，可以結合全色態影像的高空間解析特性以及多光譜態影像的較高光譜特性，產生高空間解析的多光譜態影像，稱為彩色合成影像(pan-sharpened image)。彩色合成影像的空間解析度為 1 公尺。

本研究所使用的影像為雪霸國家公園提供的多光譜影像共計 4 個波段，影像的空間解析度為 4 公尺，影像原始座標系統為 UTM 座標，經影像接合處理後，可以發現各個子影像的接合情況並不理想，河道以及山系稜線等特徵有錯位的現象。因此，要應用 IKONOS 影像於國家公園區內的植群光譜特徵研究，必須重新針對所有的子影像進行幾何糾正以及輻射校正等處理。

表 3 IKONOS 衛星影像波譜範圍

影像類別	波段	波長(microns)	空間解析度(m)
全色態影像 (Panchromatic)	全光譜段	0.53 - 0.93	1
	波段 1(藍光段)	0.45 - 0.52	4
多光譜影像 (Multi-Spectral)	波段 2(綠光段)	0.51 - 0.60	4
	波段 3(紅光段)	0.64 - 0.70	4
	波段 4(近紅外光段)	0.76 - 0.86	4

(資料來源：中大太空及遙測研究中心)



圖 7 IKONOS 衛星外貌

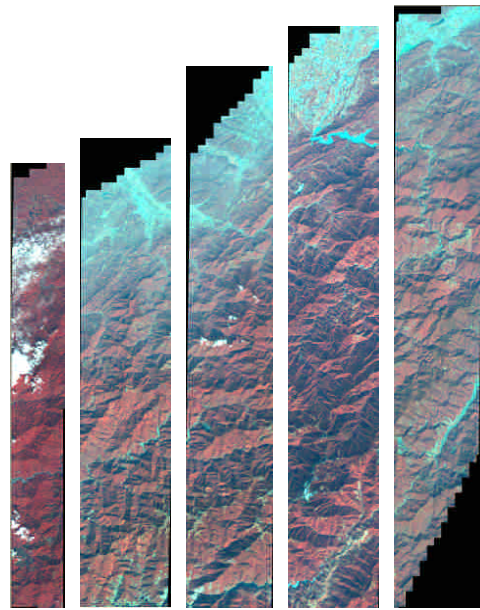


圖 8 IKONOS 疊合影像

二、數值地形模型

數值地形模型(Digital Elevation Model, DEM)為地形屬性空間分布的序列數字，包括座標值(X：橫座標；Y：縱座標)以及高程值(Z)，原始取得影像之投影系統為 UTM 大地座標，經過幾何糾正之後，將之改正為 TWD-97 大地座標，所取得之影像原始的空間解析度為 90 公尺* 90 公尺，經由 Arc GIS 軟體處理，透過 TIN 的重建以及 DEM 的重繪(林金樹, 2004)，可萃取得 10 公尺*10 公尺的高空間解析度，再利用軟體處理影像取得坡度、坡向、全天光空域等地型地貌資料，作為後續探討影響植生的環境因子之圖層。

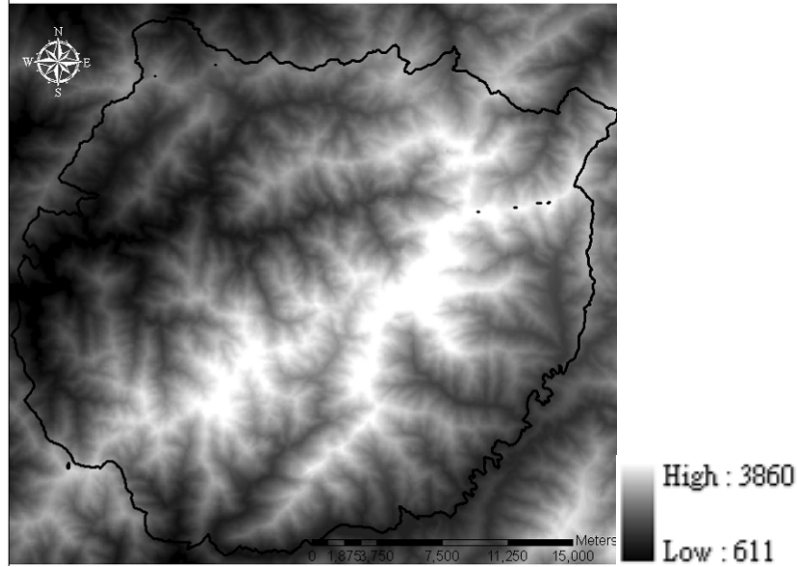


圖 9 雪霸國家公園數值高程模型

第三章、研究方法

第一節、研究流程

本研究期望藉由地面調查之植群分類結果，整合衛星影像以及結合遙感探測、地理資訊系統以及多變量統計，從大尺度、不同面向來探究園區之生態類型與特徵，研究依下列流程進行之，各步驟之方法詳述如後。

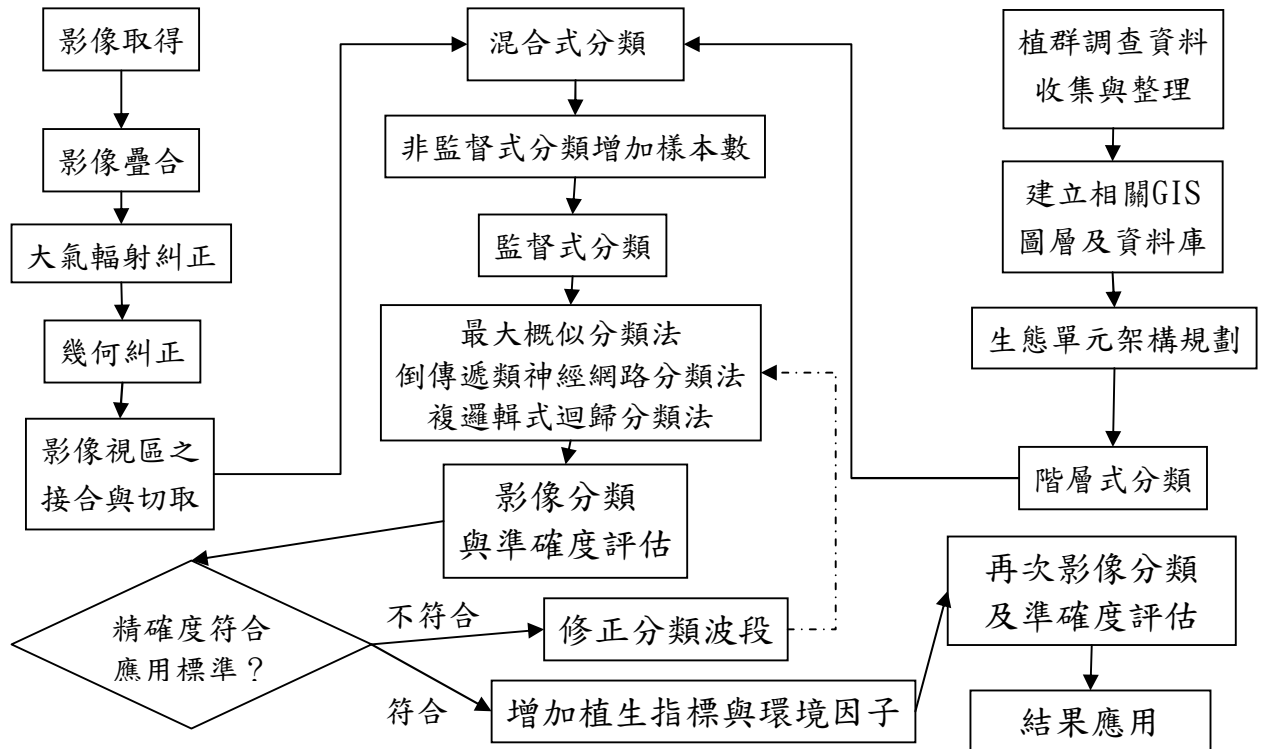


圖 10 植群生態類型特徵分析研究流程圖

第二節、生態單元架構之規劃

由過去專家學者對雪霸國家公園內植群所做的調查分類，建置的植群調查資料庫中總計調查了 306 個樣區，包括 269 個森林植群樣區及 37 個非森林植群樣區。調查資料有 X 座標、Y 座標、海拔高、坡度、坡向、園區管制分區、水分指數、土壤 pH、坡向、全天光空域等。

本研究中生態單元規劃，植群類型之命名，先採用以重要值(importance value index, IVI)所認定之優勢種(dominant species)及忠誠度(royalty)所認定之特徵種(characteristic species)聯合判定，授予群系(Formation)、群團(Alliance)、群叢(Association)之位階。

凡在同一生育地情況之下生長，而且有一定種類組成及統一形相之植物社會，即稱為群叢，按此定義，群叢就是植群生態學者理想中之單位，及代表等質或均勻之最低植物社會單位，其變異性應為最小，而依植物相組成可分層來判定植群類別，因此也有植群階層的概念，群叢為定義植群的基本單位，再上一層為群團，再往上一層為群系。

分類之原則為將變異較大之事物，劃分為若干變異較小之單位。理想之分類，應將此種步驟一直進行，直到最後分出沒有變異之小單位為止。此單位可稱為基本單位，為一均勻或等質之整體。

第三節、影像前期處理

影像前期處理包含影像疊合、幾何糾正及大氣糾正，分述如下。

一、影像疊合

分別透過購買與索取等方式取得 Landsat、SPOT-5 以及 IKONOS 衛星影像，所取得之影像為數個個別單一波段之影像，經過圖層的套疊(LAYER STACK)將各影像按照順序疊合。

IKONOS 初始影像為藍色可見光、綠色可見光、紅色可見光及近紅外光等四個波段之影像，其空間解析度為 4 公尺。Landsat 初始影像為共有 6 個波段，波段 1~3(可見光)與波段 4,5,7(近紅外光)之空間解析度為 30 公尺。SPOT-5 初始影像為綠色可見光、紅色可見光、近紅外光以及中紅外光等四個波段之影像，其空間解析度為 10 公尺。將相同位置之影像分別疊合。

二、幾何糾正

每個衛星影像皆有其不同的座標系統，我們依據具有地面座標的全島 SPOT-5 衛星影

像為參考地圖，地圖座標系統為 TWD97 座標系統，其影像像元大小為 2.5 公尺(IKONOS 像元大小為 4 公尺，Landsat 像元大小為 29 公尺，DEM 像元大小為 90 公尺)，將所有影像透過幾何糾正，皆轉換成 TWD97 座標系統。

三、大氣糾正

依據不同衛星(Landsat 以及 SPOT-5)、取得影像之日期、時間、季節、衛星高度及影像中心位置等影像參數，經過 ERDAS Imagine 9.3 軟體提供之 ATCOR3 大氣輻射糾正模式採用中緯度夏季大氣模式(mid-latitude summer)來降低大氣因吸收及散射作用導致的太陽電磁輻射能量的衰減。

IKONO 影像則是利用 ENVI 軟體提供之 FLAASH 大氣輻射糾正模式，採用中緯度夏季大氣模式(mid-latitude summer)來降低大氣因吸收及散射作用導致的太陽電磁輻射能量的衰減。

研究試區是以雪霸國家公園為主體，所以僅就研究所探討之對象範圍雪霸國家公園切取之，其 X,Y 座標分別為左上角(247840, 2714520)及右下角(285380, 2682100)，座標系統為 TWD97，單位為公尺。

第四節、光譜植生指標

本研究除探討大氣糾正後影像之分類外，並將所分類好之影像再套疊上植生指標以及環境因子等圖層再進行分類，目的在於求得植生指標、環境因子以及光譜特徵與各階層式分類之間的相關性，並依靠增加之植生指標以及環境因子等變數之影響，提高各階層之間可分辨性，期能提高分類準確度。使用之植生指標分別詳述如下。

一、氣溶膠除去植生指標(Aerosol Free Vegetation Index, AFRI)

氣溶膠除去植生指標的優點是 SWIR 波段可穿透大氣層甚至是像有氣溶膠，如煙或硫酸鹽存在下。AFRI 可被用在任何具有 SWIR 波段的感測器之資料上，其計算公式如下式(1)：

$$AFRI = \frac{\rho_{nir} - 0.66\rho_{1.6\mu m}}{\rho_{nir} + 0.66\rho_{1.6\mu m}} \quad (1)$$

ρ_{nir} 為近紅外光輻射值； ρ_{red} 為紅光輻射值； $\rho_{1.6\mu m}$ 為波長 1.6 μm 位置之輻射值

二、紅外光植生指標(Infrared Index, II)

Hardisky 學者於 1983 年發現，基於 Landsat TM 近紅外光和中紅外光波段，其對植物

生物量以及水分逆境的變化非常敏感，最適於溼地的研究；II 可以利用 DN、Radiance 或 Reflectance 求得，固其結構模式以 NIR_{TM4} 及 MIR_{TM5} 表示之。其公式如下式(2)：

$$II = \frac{NIR_{TM4} - MidIR_{TM5}}{NIR_{TM4} + MidIR_{TM5}} \quad (2)$$

NIR_{TM4} 為近紅外光波段之輻射值； $MidIR_{TM5}$ 為中紅外光波段之輻射值

三、規整差植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

綠色植物因有吸收藍光、紅光及強烈反射近紅外光之光譜特性，可用於植物資源之探測，判別植生反射量之多寡可用近紅外光及紅光兩個波段數值之差與和的比值計算出 NDVI，以分析植生情況。其公式如下式(3)：

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (3)$$

ρ_{nir} 為近紅外光輻射值； ρ_{red} 為紅光輻射值

NDVI 的值介於-1 至 1 之間，小於 0 的值，通常屬於非植生之雲層、水域、道路及建築物等像元，故指標值越大時，代表綠色生物量增加。NDVI 為植物生長及植被空間分布密度最常用之指標，因綠色植物生長越旺盛，其吸收之藍光、紅光越多，近紅外光反射愈強，其間之差距也愈大。本研究利用此一植生指標並透過前後期影像 NDVI 值的相減取得一幅新的 NDVI 變遷圖，依此變遷圖來探討雪霸國家公園內植生的恢復情況以及裸露地的增加狀況。

四、改進簡單比植生指標(Reduced Simple Ratio, RSR)

其改良了 SR 中的公式並利用中紅外光之最大與最小值的差與和之比值求取得之。

$$RSR = \frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} \left(1 - \frac{\rho_{swir} - \rho_{swirmin}}{\rho_{swirmax} + \rho_{swirmin}} \right) \quad (4)$$

ρ_{nir} 為近紅外光輻射值； ρ_{red} 為紅光輻射值； ρ_{swir} 為中紅外光輻射值； $\rho_{swirmin}$ 為中紅外光最小輻射值； $\rho_{swirmax}$ 為中紅外光最大輻射值

五、土壤修正植生指標(Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI)

Huete 學者於 1985 年發現許多可能的變化情形會影響土壤亮度，例如濕度變化、不同的粗糙度、陰影或有機質含量的差異。對於綠度的測量會和土壤亮度與土壤光譜效應類似，無論是在植被密度高或低的地方。因此，必須建立一個適當的土壤—植被系統變動模

式，藉由分析近紅外光與紅光段反射散點圖的等值線，Huete(1988)提出了 SAVI 的概念，藉以減低土壤對於樹冠光譜的影響。在 Huete 的公式中，L 為土壤調整因子 (soil adjustment factor)，代表了植被的密度，SAVI 的數值分布在 -1 跟 1 之間，理論上植被密度很低的地區，L = 1；植被密度介於中間時，L = 0.5；對於植被密度很高的地區，L = 0.25；當 L = 0 的時候，SAVI 等於 NDVI。一般情況下，L 值通常給定為 0.5。

$$SAVI = \frac{(1+L) * (\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L} \quad (5)$$

ρ_{nir} 為近紅外光輻射值； ρ_{red} 為紅光輻射值；L = 0.5

六、簡單比植生指標(Simple Ratio, SR)

方法為將紅光波段除以近紅外光波段之值。

$$SR = \frac{\rho_{red}}{\rho_{nir}} \quad (6)$$

ρ_{nir} 為近紅外光輻射值； ρ_{red} 為紅光輻射值

在某些植生指標之計算結果，其值域過小，所以本研究採用了線性資料擴展方式將其資料格式延展成 0~255，其資料格式延展之公式如下，影像資料格式紀錄為 8bit。DN 為原始資料值，DNmax 為原始資料中之最大值，DNmin 為原始資料中之最小值。

$$DN' = \frac{DN - DN_{min}}{DN_{max} - DN_{min}} \times 255 \quad (7)$$

第五節、植生及環境因子

本研究利用數值地形模型建立相關環境因子資料庫圖層，分述如下：

一、海拔(Elevation)

研究中使用解析力 90 公尺的數值地形模型產生 10 公尺之等高線，再轉成 10 公尺數值地形模型來做為研究材料。

二、坡度(Slope)

利用 ARCGIS 軟體的空間分析模組(SPATIAL ANALYSIS)，輸入 DEM 圖資產生坡度

圖層。

三、坡向(Aspect)

利用 ARCGIS 軟體的空間分析模組(SPATIAL ANALYSIS)將坡向區分為 8 級，第 1 級至第 8 級分別為 North、Northeast、East、Southeast、South、Southwest、West、Northwest。

四、全天光空域(Skyview)

樣區所在位置上方之空域，經扣除受周圍地形地物遮蔽部份，所得之天空比例，稱為全天光空域。此空域以一天頂圓表示。其儲存之檔案類型為 8bit，值的範圍為 0~255，值為 255 代表全天光空域空域為 100%(全地平線皆可看到)，反之其值為 0 時代表其全天光空域空域為 0%(該位置無法見到一點天空)

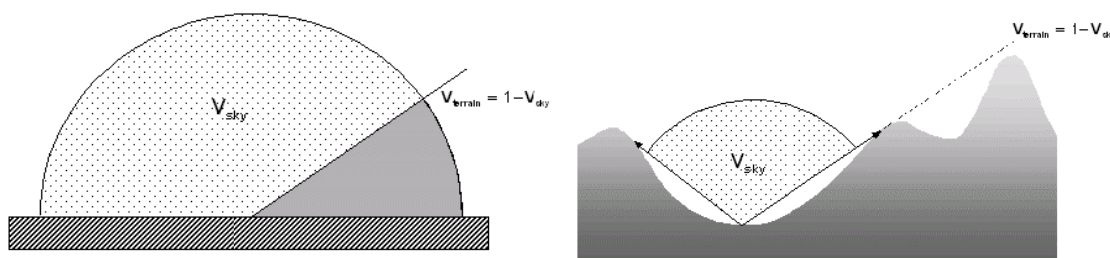


圖 11 全天光空域空域與地形遮蔽之影響圖

$$V_{sky}(x, y) = 1 - V_{terrain}(x, y) \quad (8)$$

五、葉面積指數(Leaf Area Index, LAI)

LAI 為葉面積指數，單位面積內植物所有葉面積的總合除以單位面積。在此葉面積指數圖層中，其範圍值為 0~10000，數值都放大了 1000 倍，所以當某像元的 LAI 值等於 5000 時，代表該像元之 LAI 等於 5。

$$LAI = -\left(\frac{1}{a_2}\right) \ln \left[\frac{a_0 - VI}{a_1} \right] \quad (9)$$

式中 VI= Soil Adjusted Vegetation Index(SAVI)； a_0 =偏移值； a_1 =坡度係數； a_2 =生長因子指數，本研究中之 $a_0=0.82$ ； $a_1=0.78$ ； $a_2=0.6$ 。

第六節、影像分類及準確度評估

光譜分類方法大致上可以分為非監督式分類以及監督式分類。非監督式分類法為不用事先知道實際地類覆蓋情形，是依像元的光譜特性，用聚集演算的方法來計算，將光譜性

質相同的像元歸為一類，於事後在判斷組類之地類歸屬為何，常用的非監督式分類有 ISODATA 和 K-means。監督式分類法是由已知的組類的光譜資訊來對影像做分類，首要工作為訓練樣區(training area)的選取，經由人工選取後在行自動分類，監督式分類的準則為經由訓練樣本選取後的到各組類之光譜特徵，在以逐像元的方式求各像元之光譜向量與已知組類之光譜特徵間的分離度距離，距離越小者，則將此像元歸屬於該組類中。

本研究所使用之分類方法係採用混合式分類法，係因某些類別的調查樣本不足，在進行分類結果評估時，計算不出其組類內之共變異矩陣，故無法進行分類，因此採用了非監督式分類的 ISODATA 法概念來擴大樣本點數，以找出與植群類別具有相同光譜特性的像元，當做為該像元為該植群，以增加樣點之數量。之後再進行監督式分類法，分別採用最大概似法(Maximum Likelihood Classifier, MLC)、倒傳遞類神經網路分類法(Back Propagation Network, BPN)以及複邏輯迴歸模式分類法(Multi-logistic Regression, MLR)來做影像分類，非監督式方法以及三種監督式分類方法分別詳述如下：

一、集群分類法(ISODATA)

ISODATA 分類法為群集分析(cluster analysis)之一種。群集分析的意義在於將未知類別的個體予於分組，使較相似之個體歸於同一類；其目標在使各組之組內變異小，而各組之組間變異大。不同物體、不同波段會在影像中呈現不同的灰度值(gray level)，灰度值代表著各點於各光譜的反射強度，而於影像分類中，各光譜以向量空間方式來表示，並在此空間中進行分類，目的是在於將影像中之相似之個體予以歸類。本研究中將這樣的觀念拓展至各階層式分類資料中。各因子會有一面狀的資料分布，將這樣的面狀資料視同一影像中某一光譜之特性，本研究將實際現場調查之各分組之組別為因子，與透過 ERDAS IMAGINE 軟體提供之非監督分類法進行影像分類之類別做配對，拓展樣本數至每個樣本至少為 50 個像元。

在 ERDAS IMAGINE 中，非監督式分類所採用的分類法屬於反覆自我組織資料分析法(iterative self-organizing data analysis technique)，簡稱為 ISODATA 分類法。反覆(iterative)指該分類法會進行反覆之迭代計算，直至滿足所給定之限制條件為止。所謂自我組織(self-organizing)則是指此方法會依照使用者所輸入之最小群集數目進行自我分類(林淑媛，2003)。

二、最大概似法(Maximum Likelihood Classifier, MLC)

先就影像中之各種組類，選取部份像元為樣本，用以訓練種組類光譜空間之特徵參數，均值向量為 μ_j 及共變異矩陣 Σ_j ，在依據影像中待分類之光譜值，計算其隸屬於某一組類之概似值(likelihood)，再將其分類為具最大概似值之組類。

設 $\{\omega_j\}_{j=1}^c$ 為 C 種土地利用型之集合，又設對某一土地利用型 ω_j ，其具有一已知的條件機率密度函數 $P(x|\omega_j)$ ，可以表示樣本 X 屬於 ω_j 之概似值，如果樣本 X 滿足(10)式條件時，則最大概似法將該樣本 X 分類為 $\omega^*(x)$ 組類。

$$\omega^*(x) = \arg \left[\max_{1 \leq j \leq c} \rho(x|\omega_j) \right], \text{ ie., } \rho(x|\omega_j) = \max_{1 \leq j \leq c} \rho(x|\omega_j) \quad (10)$$

當 $\rho(x|\omega_j)$ 具有高斯分佈特性時，其均值向量為 μ_j ，共變異矩陣為 C_j ，則最大概似法則(式 10)即可改寫成高斯最大概似法分類法則(Gaussian ML classifier)(式 11)

$$\omega^*(x) = \arg \left\{ \min_{1 \leq j \leq c} \left[(x - \mu_j)^T C_j^{-1} (x - \mu_j) \right] \right\} \quad (11)$$

利用 MLC 法分類時，各組類之訓練樣本最少必需大於波段數，若避免某一組類 ω_j 因樣本數太少，導致其共變異矩陣 C_j 為 singular(Herstein and Winter, 1988)，無法求得該組類共變異矩陣之逆矩陣 C_j^{-1} ，該組類再分類過程中將被其他光譜特徵相似的組類所涵蓋(dominate)，因而降低分類準確度，則宜以波段數之 10~100 倍的像元數作為訓練樣本，同時可以降低或避免發生 Hughes 現象(林金樹，2001)。

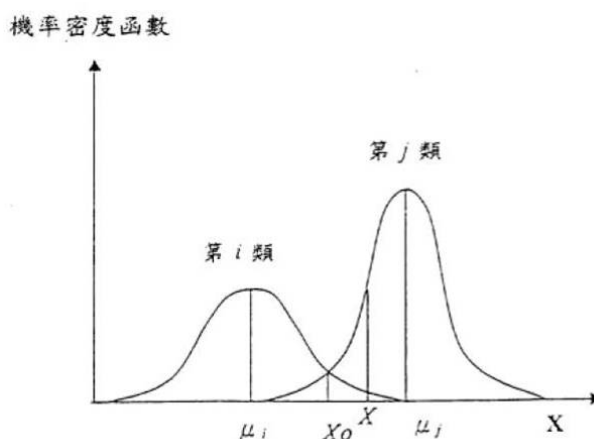


圖 12 最大概似法判別說明圖

三、倒傳遞類神經網路分類法(Back Propagation Network, BPN)

BPN 法的理論是採用 3 層級的網路來做分析，分別為輸入層、隱藏層及輸出層見圖 12。類神經網路是一種計算系統，使用大量相連結的人工神經元來模擬生物神經網路能力。生物神經元是經由突觸(synapse)透過樹突(dendrite)傳到神經核，再由軸突(axon)傳到樹突成為下一個神經元的輸入訊號。

每個人工神經元上的突觸皆具有權重值，而人工神經元上具有轉移函數，在一個人工神經元接收數個輸入時，轉移函數將這個輸入轉換成單一數值輸出，此輸出值便輸出到下一個人工神經元，成為下一個人工神經元的輸入端，其公式如下式(12)。

$$a = f(wp + b) \quad (12)$$

p 為輸入向量，w 為權重值，b 為誤差值，f 為轉移函數，a 為訊號經由神經元運算過後之輸出值。

BPN 理論分成兩部分正向傳遞與反向傳遞兩階段計算，正向傳遞是由輸入層經隱藏層到達輸出層產生輸出向量的過程，當其不能得到期望的輸出時，推算輸出向量與目標輸出向量代入誤差函數並以最陡坡降法(the gradient steepest descent method)得到層權重矩陣(layer weight matrix)修正值，此為反向傳遞。之後以此修正量再次作正向傳遞，如此不斷的反覆修正產生最佳之層權重值矩陣，而產生最佳之輸出值，而其轉移函數是採用式(13)(Mutanga and Skidmore,2004)。

$$A = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (13)$$

而與式(12)合併後可得式(14)。

$$a = \frac{1}{1 + e^{-(wp+b)}} \quad (14)$$

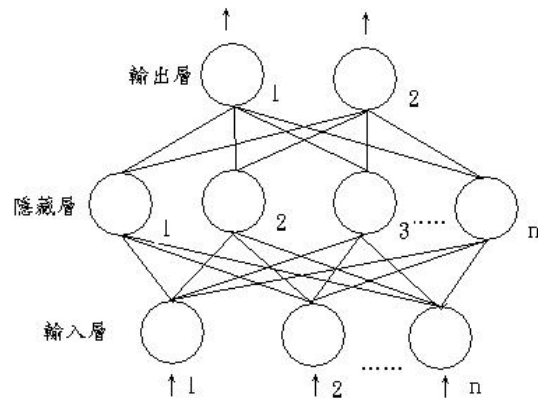


圖 13 倒傳遞類神經網路架構

四、複邏輯迴歸模式分類法(multiple logistic regression model, MLR)

迴歸分析是討論事物間或變數間的相關性(relationship)，來研究變數間的關係，為統計學上另一個重要的分析法。將研究的兩個變數以一個數學模式相連，並觀察其間的關係。即為迴歸分析(regression analysis)。若影響依變數之獨立變數不只一個而有多個，也以一個數學模式連結，而式中的獨立變數皆為一次式時，稱此模式為複線性迴歸模式(multiple linear regression model)。如果資料依變數並非連續性的連續變數，而是二分類(binary or dichotomous)反應數，一如二項分布資料僅有兩種特徵，我們把一種特徵定為成功(success)並且以 1 代表之，另依種特徵為失敗(failure)，並以 0 代表之。其複邏輯式迴歸模式為下式(15)(沈明來 2002)。

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-x_i' \beta}} \quad (i = 1, 2, \dots, s) \quad (15)$$

五、準確度評估

影像分類準確度之評估，係就分類所採用的訓練樣區與評估樣區之像元，依其地面真值與分類所得之組類值，製成分類混淆表(error matrix)。根據該誤差矩陣內的數值，又可以計算出幾個主要且常用的分類精度指標，如生產者準確度(producer's accuracy)、使用者準確度(user's accuracy)、全區分類準確度(overall accuracy, OA)、平均精度(average accuracy)以及 Kappa 同意係數(Kappa coefficient of agreement, \hat{k})評估之。OA 係表示全部的像元中被正確分類到各個組類的像元數佔全部像元數之比例， \hat{k} 則為綜合全區分類正確像元數與各組類之誤授與漏授像元數以評估分類準確度之指標。故 \hat{k} 指標可以用來作為混淆表之統計意義(精度好壞)，亦可以用來表示兩混淆表之間的差異性(葉志聖，1995)。

第七節、園區地類變遷分析

本研究利用兩期不同時間之 SPOT-5 影像探討雪霸國家公園園區全區內裸露地之變遷，以及七家灣溪流流域被覆變遷分析，其實施之步驟如下圖 14 所示。

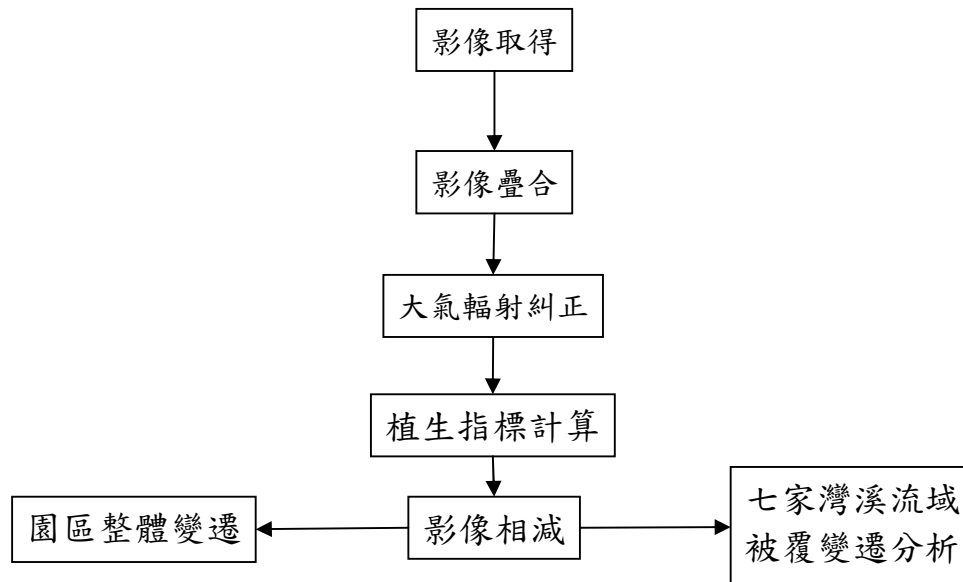


圖 14 辛樂克颱風對裸露地之影響研究流程圖

一、園區整體變遷

利用前後兩期 SPOT-5 影像計算規整差植生指標，再透過前後期影像相減所得到的影像來探討辛樂克颱風對雪霸國家公園園區整體所造成之影響。

二、七家灣溪流流域變遷資訊

利用 ARCGIS 軟體將七家灣流域定位後，再透過 ERDAS IMAGE 軟體將七家灣溪流流域裁切下來，將七家灣流域前後兩期影像進行葉面積指數之計算，取得前後兩期影像之葉面積指數圖，透過影像相減，取得七家灣溪流流域被覆的變遷圖，探討辛樂克颱風對七家灣溪流流域所造成之影響，為了更進一步的證實此次的研究成果是由辛樂克颱風所造成的，以 SPOT5 颱風前期影像與 Landsat ETM+影像做比對，以確認颱風前的變遷情形。

第四章、結果與討論

第一節、大氣糾正結果

一、IKONOS 大氣糾正結果

依據 IKONOS 衛星之影像日期、時間、季節、衛星高度以及影像中心位置等影像參數，經過 ENVI 軟體提供之 FLAASH 大氣輻射糾正，模式採用中緯度夏季大氣模式 (mid-latitude summer) 來降低大氣因吸收及散射作用導致的太陽電磁輻射能量的衰減，圖 15 為 IKONOS 影像經大氣糾正前後之影像比對，IKONOS 影像掃瞄帶寬約為 10 公里左右，要集成雪霸國家公園全區之影像，勢必是採用不同時間點拍攝的影像鑲嵌而成，其所受的大氣狀態影響也不同，使之在視覺上每幅影像的清晰度也不同，但經大氣糾正後之影像全區影像清晰度看似一致，也將相同地物的光譜特徵修整至相近特徵。

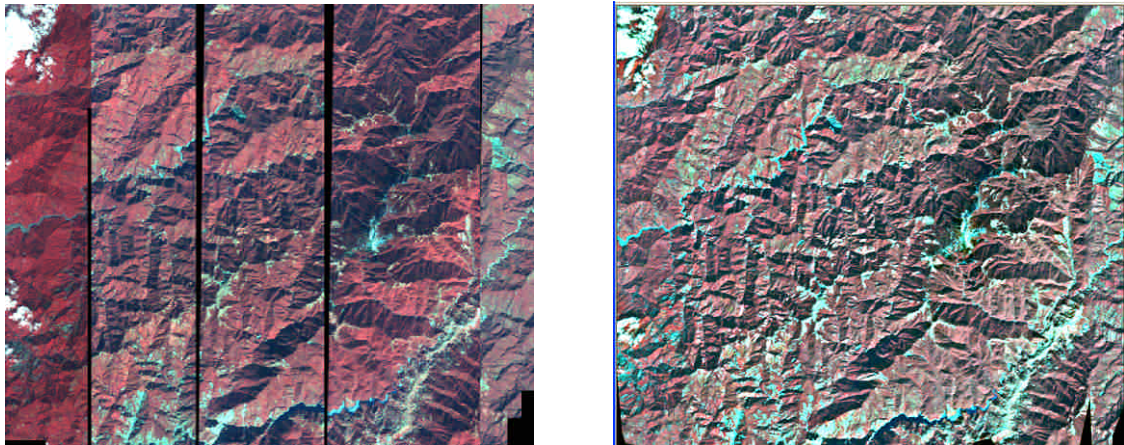


圖 15 雪霸國家公園區域 IKONOS 影像(左)及經大氣糾正影像(右)

二、Landsat-ETM 大氣糾正結果

依據 Landsat 衛星影像之日期、時間、季節、衛星高度及影像中心位置等數據，經過 ERDAS Imagine 9.3 軟體提供之 ATCOR3 大氣輻射糾正模式採用中緯度夏季大氣模式 (mid-latitude summer) 來降低大氣因吸收及散射作用導致的太陽電磁輻射能量的衰減後產生影像如圖 16。圖 16 (左) 為 Landsat-ETM 未經大氣校正的影像，明顯的看出似乎有薄薄的霾氣覆蓋，經大氣校正後除去了大氣之影響影像變為清晰。

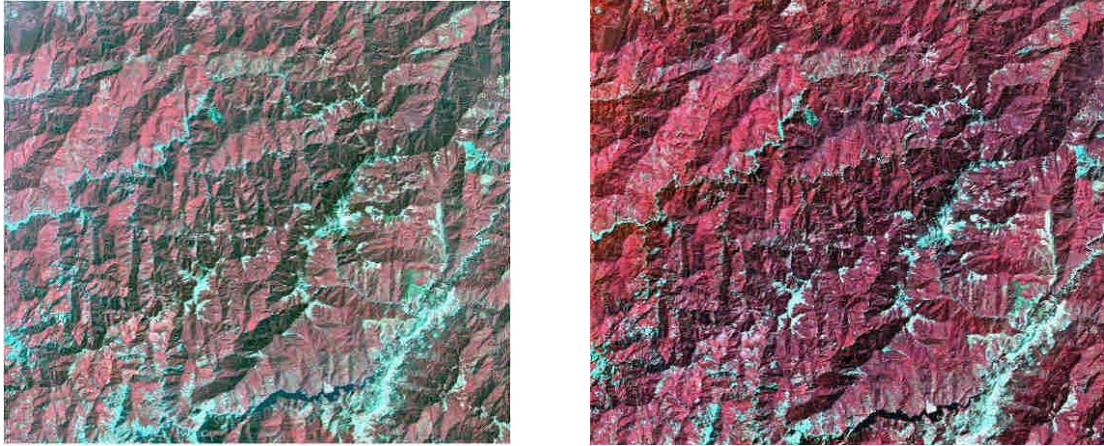


圖 16 雪霸國家公園區域 Landsat 影像(左)及經大氣糾正影像(右)

圖 17 為裸地、植生及水體在未經校正之影像及大氣校正後影像之光譜特徵曲線比較圖，未經校正影像之光譜特徵紊亂，全然不為標準之植生及水體的光譜特徵，經校正後，明顯的植生及水體調整為正確應有的標準特徵曲線。

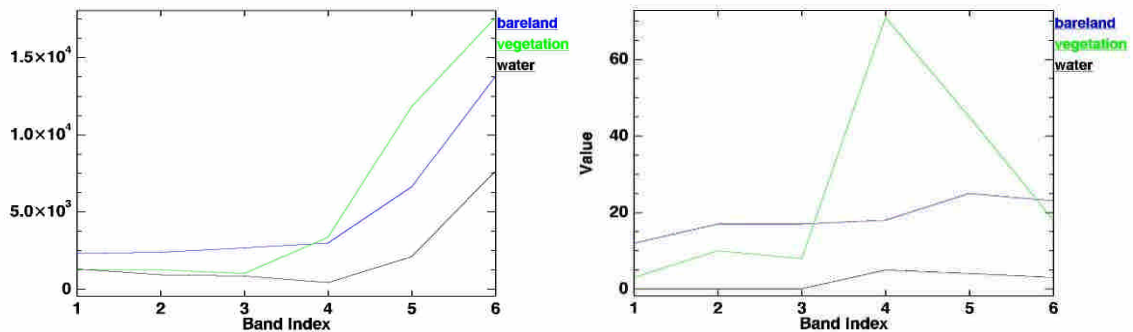


圖 17 植生(綠)水體(黑)及裸露地(藍)原始影像(左)及大氣校正後(右)光譜特徵曲線比較

三、SPOT-5 大氣糾正結果

SPOT-5 衛星影像也是用 ATCOR3 大氣輻射糾正模式來做大氣輻射糾正，採用中緯度夏季大氣模式(mid-latitude summer)來降低大氣因吸收及散射作用導致的太陽電磁輻射能量的衰減後產生影像如圖 18(右)及圖 19 (右)。圖 18(左)及圖 19(左)為 SPOT-5 未經大氣校正的影像，經大氣校正後影像變為清晰除去了大氣之影響。

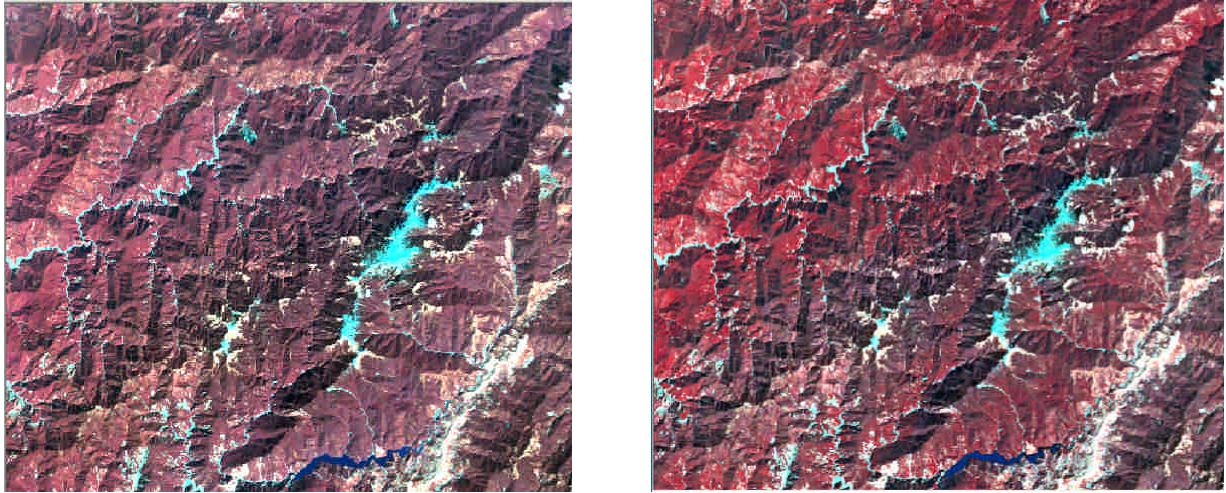


圖 18 雪霸國家公園區域 SPOT-5 颱風前影像(左)及經大氣糾正影像(右)

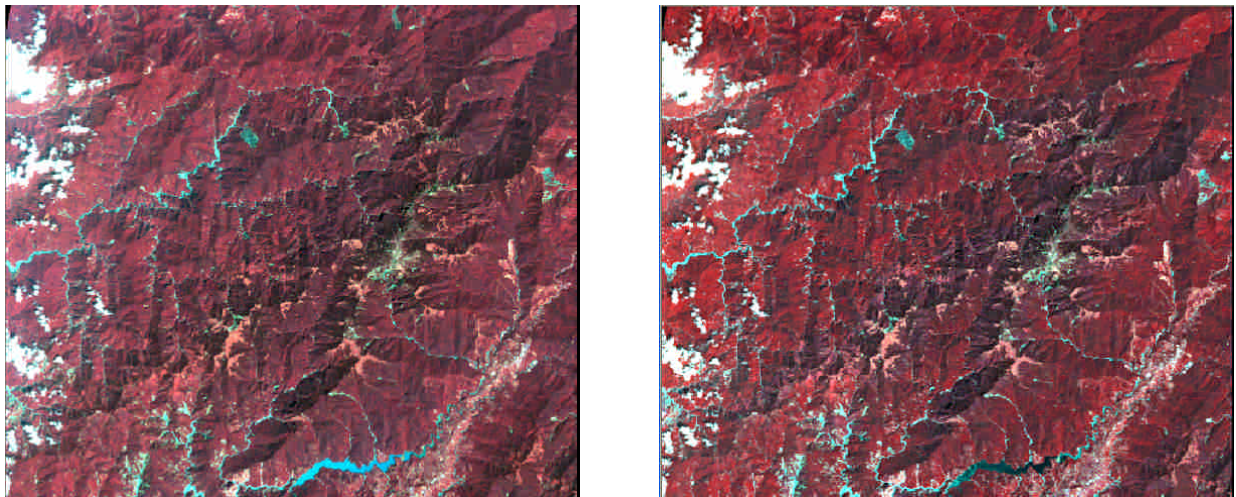


圖 19 雪霸國家公園區域 SPOT-5 颱風後影像(左)及經大氣糾正影像(右)

第二節、植生指標及環境因子圖層建置

一、植生指標

本研究挑選了 AFRI、II、NDVI、RSR、SAVI 及 SR 等植生指標，來做資料維度的延展增加分類之依據以提升分類準確度。

(一)、氣溶膠去除植生指標(AFRI)

本研究將所計算得之 AFRI 數值，因為值域過小，所以採用了線性資料擴展的方式，資料格式延展到 0~255，影像資料格式紀錄為 8bit，而 IKONOS 並無波長 $1.6\mu\text{m}$ 的波段，故無法建立此植生指標，所得之結果如圖 20。

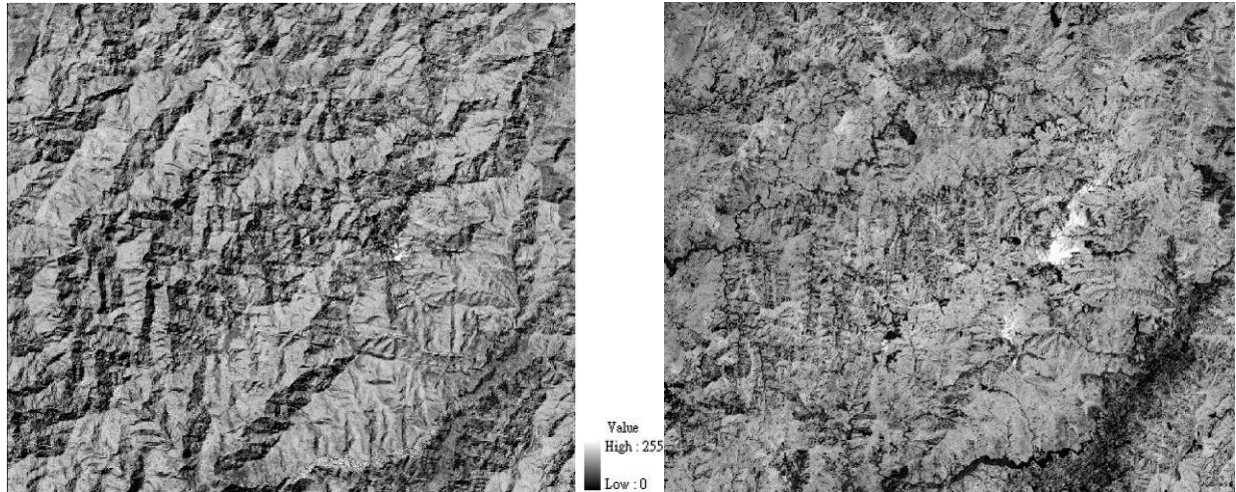


圖 20 Landsat (左)及 SPOT-5(右)影像之 AFRI 圖

(二)、紅外線植生指標(II)

IKONOS 沒有中紅外光的波段，故無法建立此植生指標，將 II 指標資料格式延展到 0~255，所得之結果如圖 21。

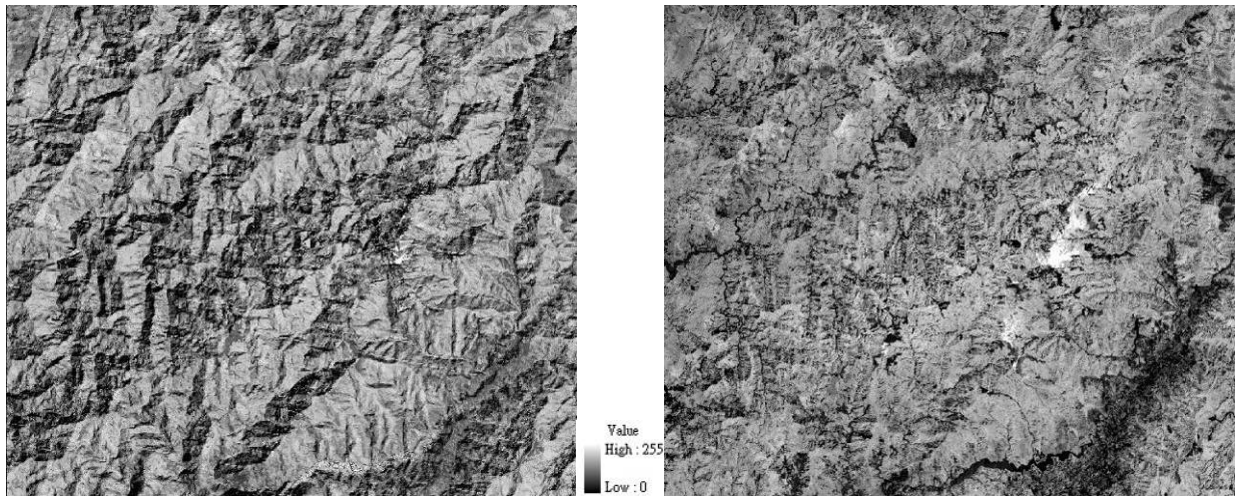


圖 21 Landsat (左)及 SPOT-5(右)影像之 II 圖

(三)、規整差植生指標(NDVI)

NDVI 的值介於-1 至 1 之間，小於 0 的值(越黑)，通常屬於非植生之雲層、水域、道路及建築物等像元，故指標值越大時，代表綠色生物量增加，Landsat 和 SPOT-5 產生之 NDVI 圖相近，而 IKONOS 產出之植生指標圖較前二者不同，因為值域過小，所以採用了線性資料擴展的方式，資料格式延展到 0~255。

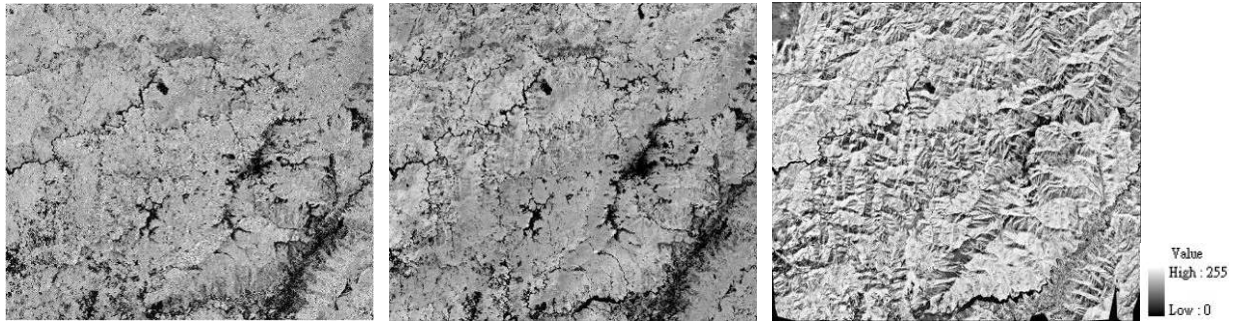


圖 22 Landsat (左)、SPOT-5(中)及 IKONOS(右)影像之 NDVI 圖

(四)、改進簡單比植生指標(RSR)

IKONOS 沒有短波紅外光(SWIR)的波段，故無法建立此植生指標，因為值域過小，所以採用了線性資料擴展的方式，資料格式延展到 0~255。

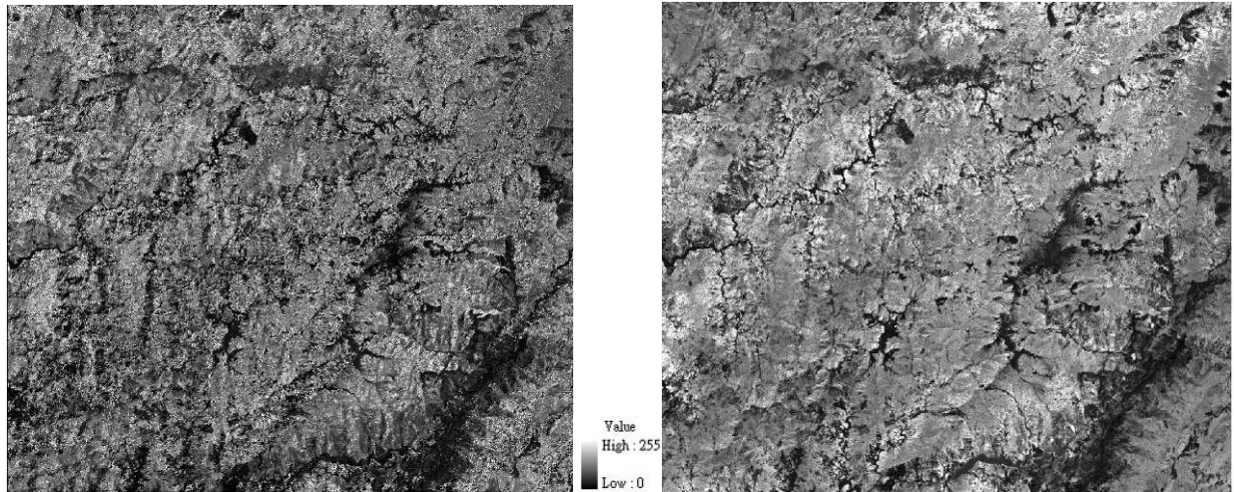


圖 23 Landsat (左)及 SPOT-5(右)影像之 RSR 圖

(五)、土壤修正植生指標(SAVI)

圖 24 顯示 IKONOS 產出之 SAVI 圖較不一致，因為值域過小，所以採用了線性資料擴展的方式，資料格式延展到 0~255。

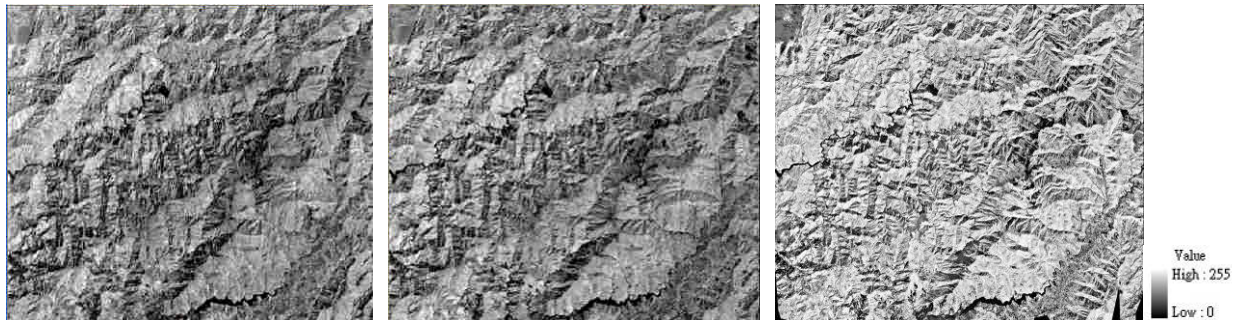


圖 24 Landsat(左)、SPOT-5(中)及 IKONOS(右)影像之 SAVI 圖

(六)、簡單比植生指標(SR)

本研究將所計算得之 SR 數值，因為值域過小，所以採用了線性資料擴展的方式，資料維度延展到 0~255，影像資料格式紀錄維 8bit，所得之結果如下圖 24。

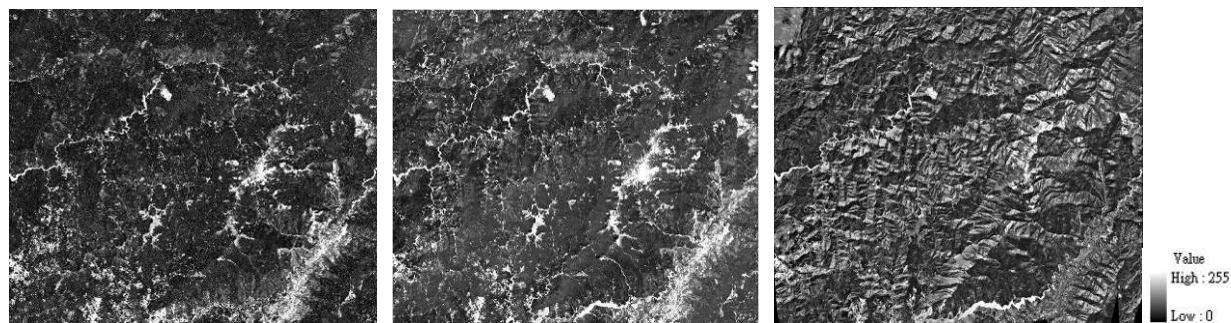


圖 25 Landsat(左)、SPOT-5(中)及 IKONOS(右)影像之 SR 圖

二、環境因子圖層

本研究選擇下列環境因子建立資料庫圖層，以數值地形模型(DEM)利用 Arc GIS 軟體的空間分析模組(SPATIAL ANALYSIS)產生海拔、坡度、坡向等圖層並計算得到全天光空域及 LAI 視為一環境變數。

(一)、海拔

試區海拔高度分佈範圍在 700 至 3860 公尺之間，海拔高度分佈廣泛，圖 26 特將海拔高度區分為 6 級以供展示用。

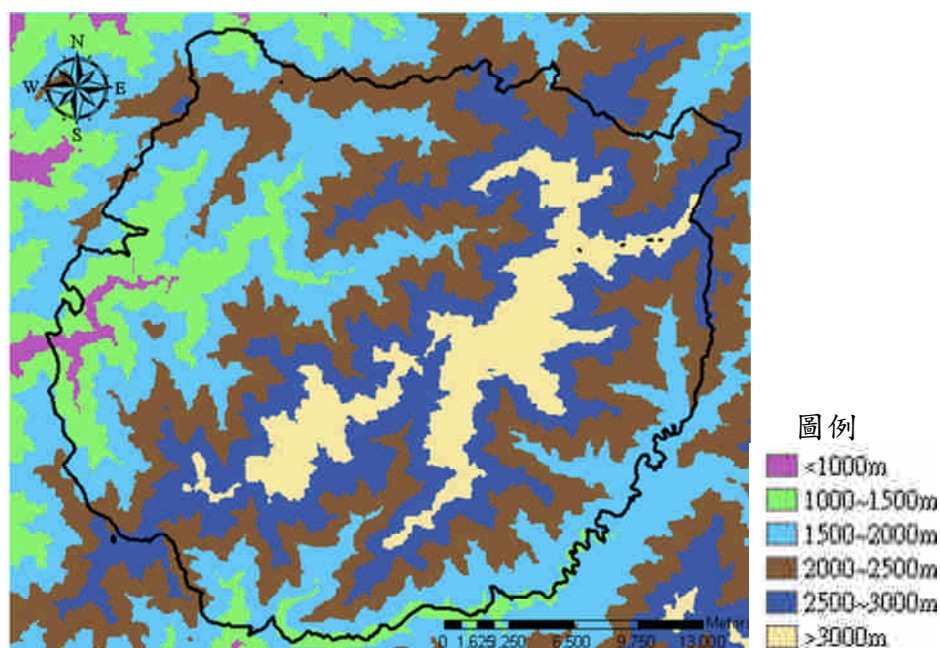


圖 26 海拔分級圖

(二)、坡向

分為 8 級，依序分別為 North、Northeast、East、Southeast、South、Southwest、West、Northwest。

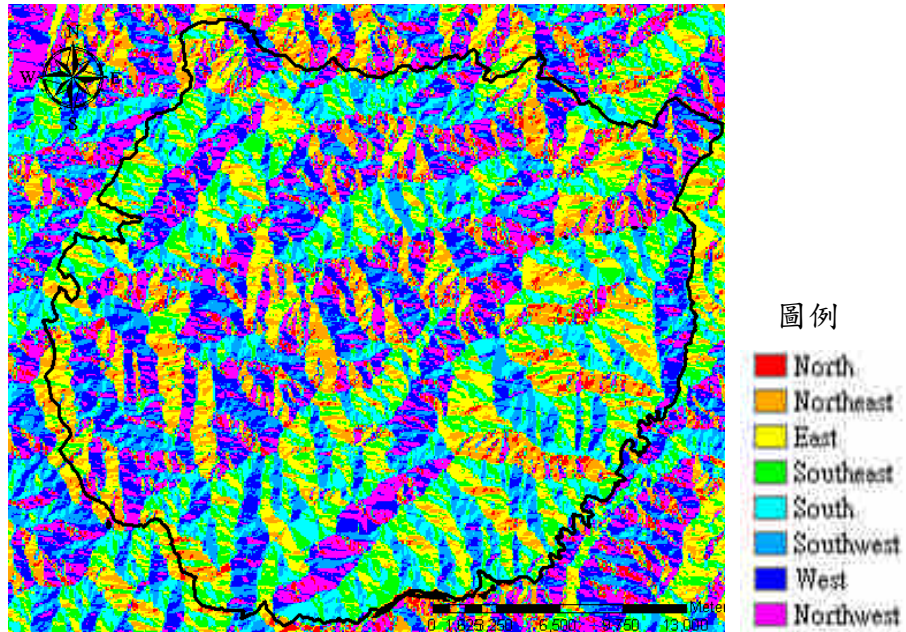


圖 27 坡向圖

(三)、坡度

共區分為 6 級，第 1 級($0^{\circ}\sim 5^{\circ}$)、第 2 級($5^{\circ}\sim 15^{\circ}$)、第 3 級($15^{\circ}\sim 25^{\circ}$)、第 4 級($25^{\circ}\sim 35^{\circ}$)、第 5 級($35^{\circ}\sim 45^{\circ}$)、第 6 級(45° 以上)。

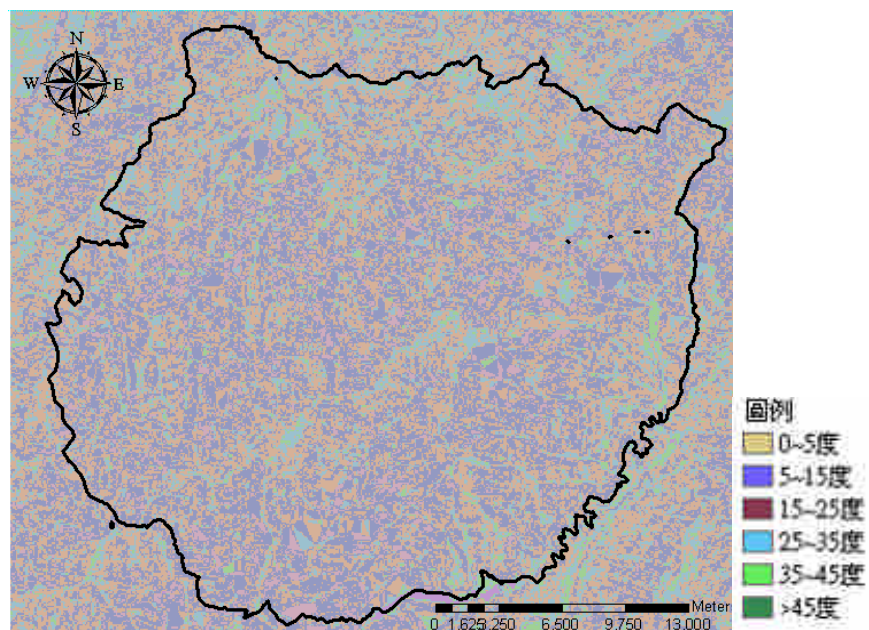


圖 28 坡度分級圖

(四)、全天光空域

全天光空域主要是受地形的影響而會有所不同，此為用 10 公尺數值地形模型產生的圖層，若是用不同解析力的數值地形模型，所產生的全天光空域圖也會有所不同。

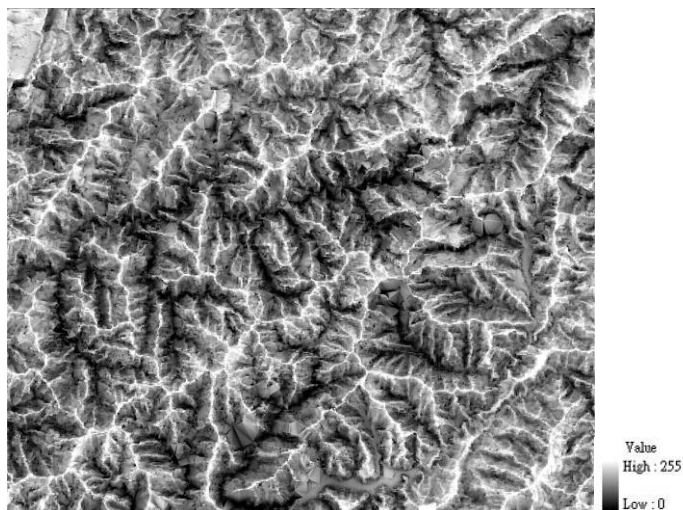


圖 29 全天光空域

(五)、葉面積指數(LAI)

LAI 圖是進行 ATCOR 大氣糾正模式所產生的圖層，IKONOS 是用 FLAASH 大氣糾正模式，故沒有 LAI 圖層，主因是 IKONOS 影像是經由鑲嵌產生，無法正確給定其影像拍攝日期、時間等參數導致。經過計算所得之各影像 LAI 如圖 30 所示，其數值範圍為 0~10000 之間，因數值都放大了 1000 倍，所以當某像元 LAI 值為 5000 時其 LAI 值為 5。

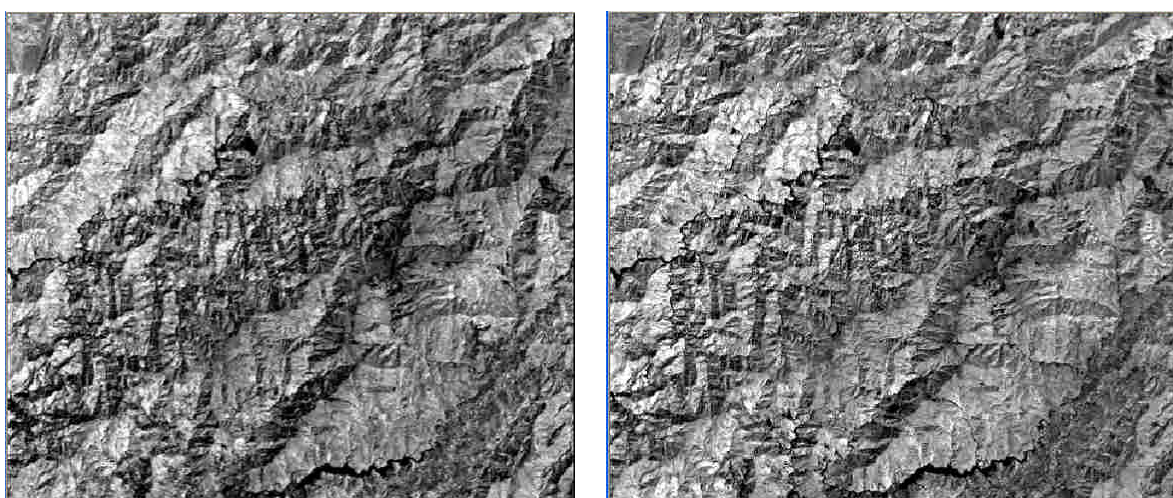


圖 30 Landsat (左)及 SPOT-5(右)影像之 LAI 圖

第三節、生態單元架構圖

經過非監督式分類法之集群分析後，將原始樣點擴展為各樣本數 50 以上，其各階層之原始分類樣本(左)與樣本擴展後(右)分布見下圖 31，於群系生態單元架構中，因為僅分類為 6 類，所以增加的樣本點數不多，由原來的 168 樣本增加到 376 個；於群團分類當中共分類為 12 類，原來共 184 個樣本增加到 697 個；於群叢分類當中共分類為 11 類，原來共 181 個樣本增加到 620 個。

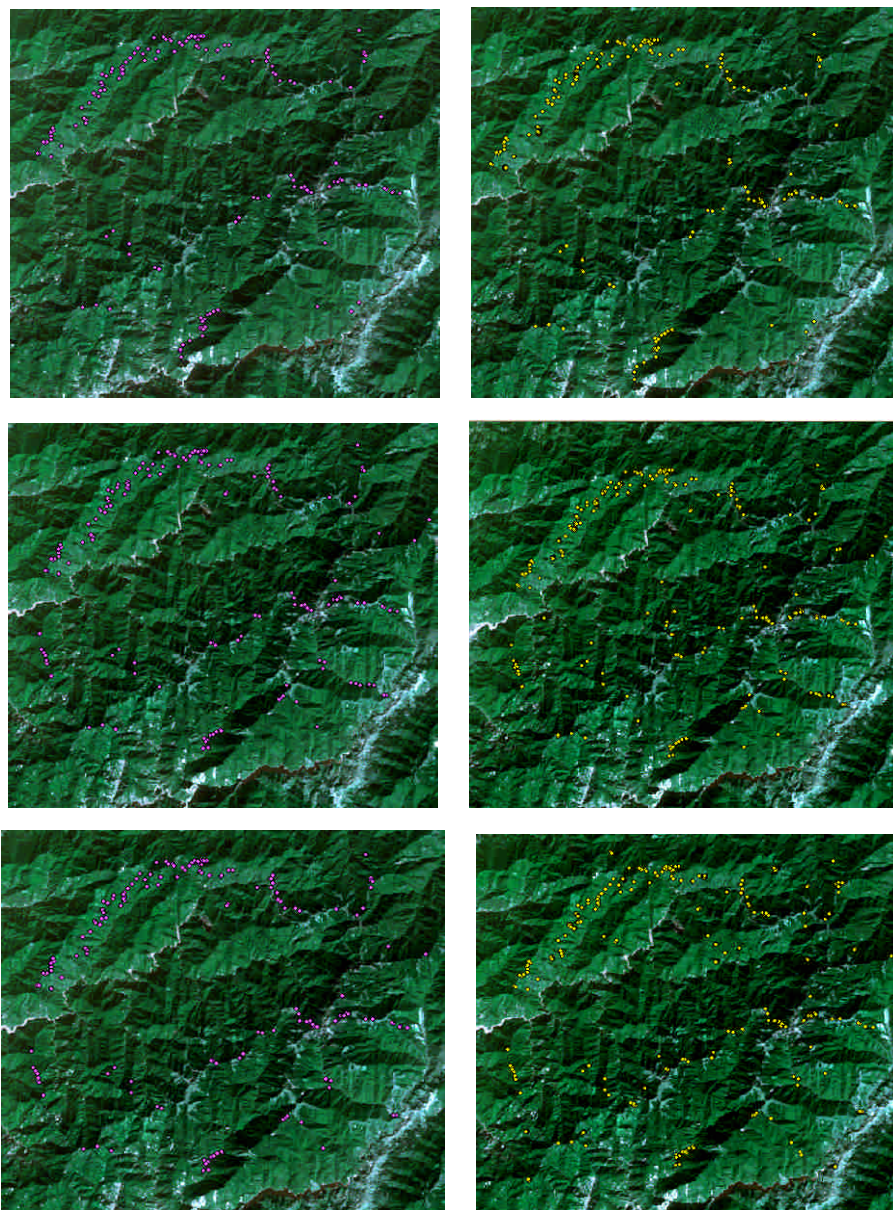


圖 31 原始分類樣本(左)與樣本擴展後(右)分布圖(上到下依序為群系、群團以及群叢)

經由地面植群調查結果，植群類型之命名分類，先採用以重要值所認定之優勢種及忠誠度所認定之特徵種聯合判定，授予群系(Formation)、群團(Alliance)、群叢(Association)

之位階，代碼分別以 F 代表群系、A 代表群團及 G 代表群叢，表 4 為本研究視為一分類植群的代碼編號。

表 4 分類編號代碼意義一覽表

群系		群團		群叢	
代碼	意義	代碼	意義	代碼	意義
F1	亞寒帶高山闊濕	A1	玉山圓柏群團	G1	玉山圓柏
	常綠針葉-長綠闊	A2	臺灣冷杉群團	G2	臺灣冷杉
	夜混交矮盤灌叢	A4	臺灣鐵杉群團	G3	臺灣鐵杉
F2	冷溫帶亞高山超	A6	臺灣二葉松群團	G4	松
	濕常綠針葉純林	A7	臺灣扁柏群團	G5	檜木
	群系	A11	臺灣杜鵑群團	G6	臺灣杜鵑
		冷溫帶亞高山重	A12	卡氏楮群團	G7
F3	濕常綠針葉混交	A13	長葉木薑子群團	G8	長葉木薑子
	林群系	A14	川長葉木薑子群團	G9	黃杉、鵝耳櫪
		涼溫帶上層山地	A15	臺灣黃杉群團	G10
F4	超濕常綠針葉-常	A17	臺灣赤楊群團	G11	櫟、青剛櫟
	綠落葉闊葉混交	A18	臺灣櫟群團		
	林群系				
F5	暖溫帶中層山地				
	超濕常綠闊葉混				
F6	交林群系				
	亞熱帶下層山地				
	超失常綠闊夜混				
	交林				

第四節、園區主要地類之光譜特徵

一、IKONOS 光譜特徵分類結果

由原始 4 個波段衍生得到 3 個植生指標以及 4 個環境植生因子，所疊合成 11 波段之影像，萃取各分類階層中，各個組類之光譜特徵如圖 31 所示。其 11 個波段所代表的圖層意義依照順序分別 1~4 波段為原始 IKONOS 衛星影像之光譜波段(藍光、綠光、紅光以及近紅外光)、3 個植生指標波段(NDVI、SAVI 以及 SR)以及 4 個環境植生因子波段(DEM、坡向、坡度以及全天光空域)。

由圖 32 可以得知第 3、4、5、6 及 8 波段，為共通之較易使用於分辨各類別之圖層。

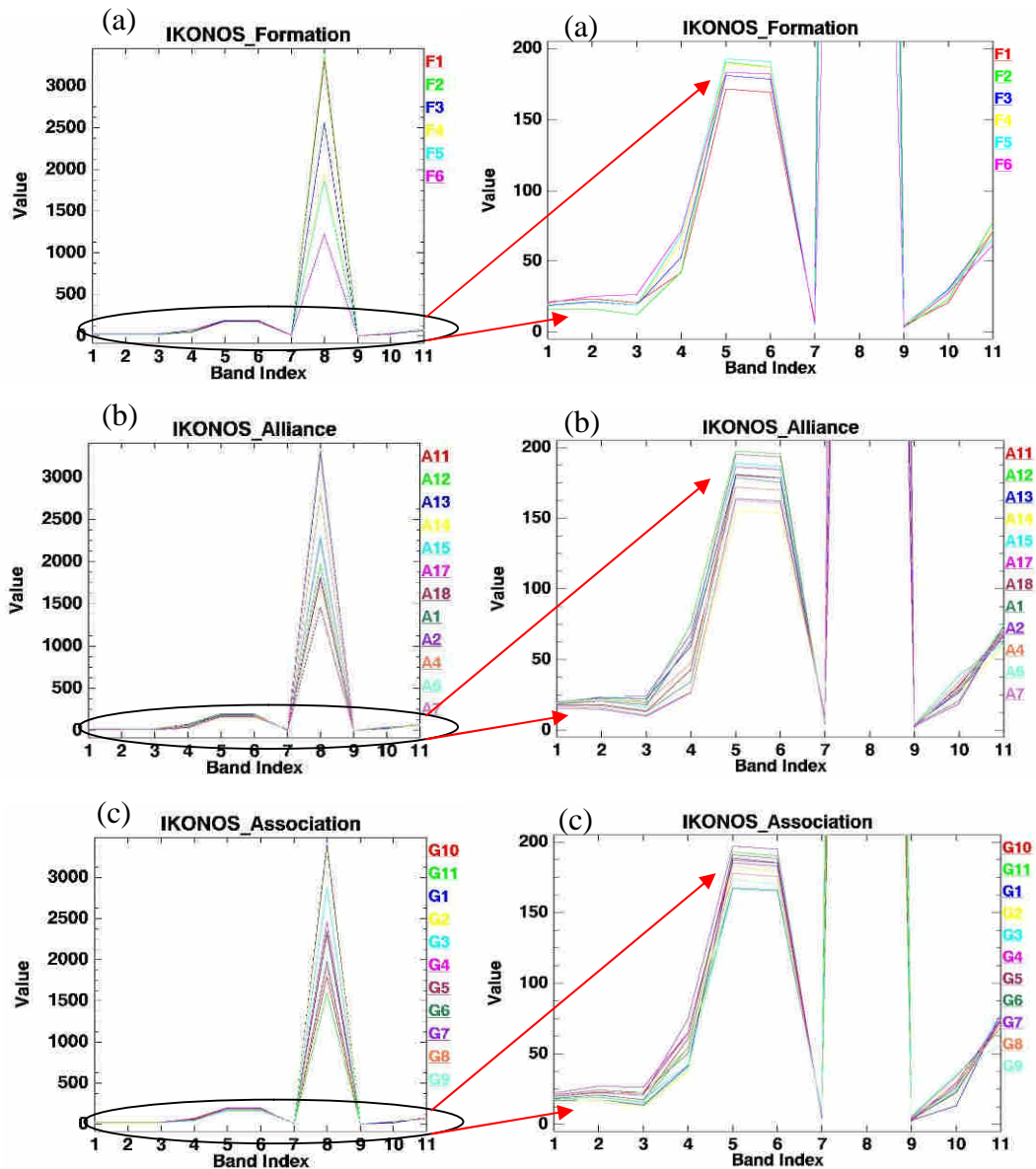


圖 32 多階層生態系組類的 IKONOS 光譜特徵(a)群系(b)群團(c)群叢

二、Landsat 光譜特徵分類結果

由原始 6 個波段衍生得到 6 個植生指標以及 5 個環境植生因子所套疊之多譜態影像，萃取各階層式分類中各分類之光譜特徵如圖 32 所示。其 17 個波段所代表的圖層意義依照順序為 1~6 波段為原始 Landsat 衛星影像之 6 個波段(藍光、綠光、紅光、近紅外光以及兩個短紅外光)、6 個植生指標波段(AFRI、II、NDVI、RSR、SAVI、SR)以及 5 個環境植生因子波段(高程、坡向、坡度、全天光空域以及葉面積指數)。

由圖 33 可以發現，第 3、4、5、7、8、13 以及第 17 波段為較易分辨各類別光譜特徵之波段。

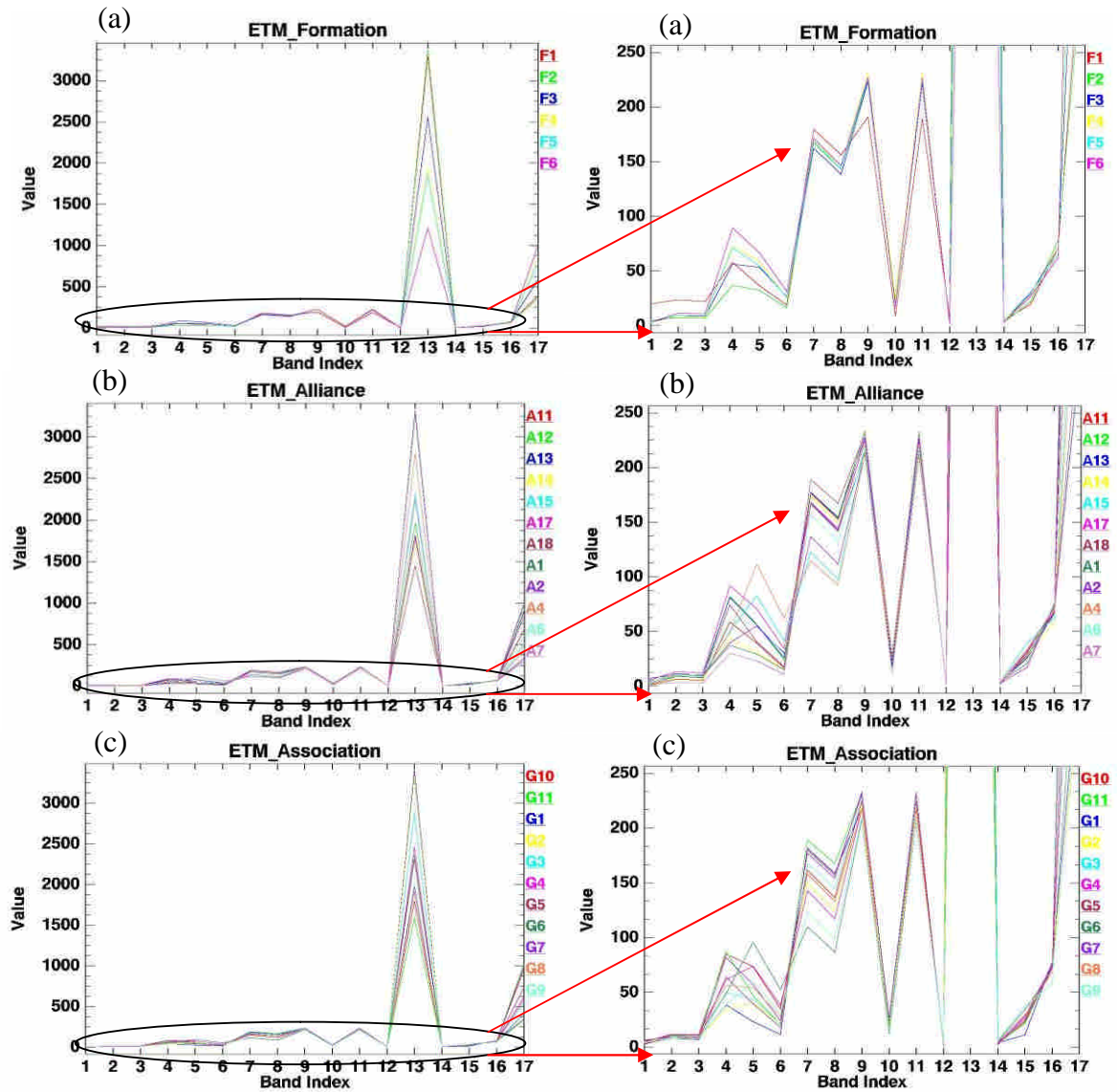


圖 33 多階層植群生態單元(a：群系，b：群團，c：群叢)之 Landsat ETM 光譜特徵

三、SPOT-5 影像光譜特徵分類結果

由原始 4 個波段衍生得 6 個植生指標以及 5 個環境植生因子所套疊之多譜態影像，萃取各階層式分類中各分類之光譜特徵如圖 33 所示。其 15 個波段所代表的圖層意義依照順序為 1~4 波段為原始 SPOT-5 衛星影像之 4 個波段(綠光、紅光、近紅外光以及短紅外光)加上 6 個植生指標(AFRI、II、NDVI、RSR、SAVI、SR)以及 5 個環境植生因子(高程、坡向、坡度、全天光空域以及葉面積指數)。

由圖 34 可以得知，波段 2、3、4、5、6、7、9、11 以及 15 不管於哪個分類階層，皆為較易分辨各階層內各組類之光譜特徵波段。

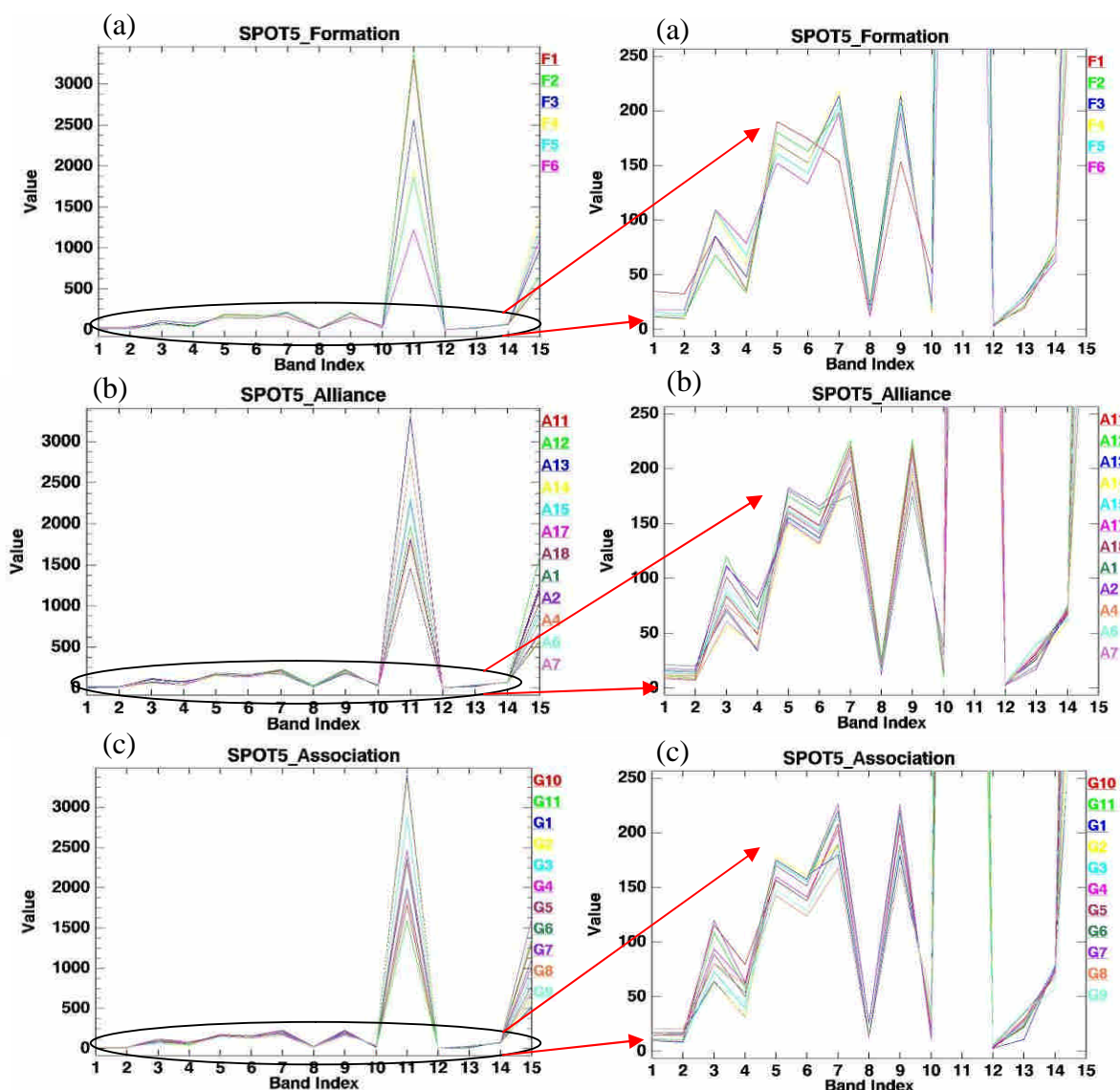


圖 34 多階層植群生態單元(a：群系，b：群團，c：群叢)之 SPOT-5 光譜特徵

第五節、生態單元影像分類結果之評估

利用衛星影像於生態系多階層植群生態系特徵分佈範圍製圖之成果，依衛星影像所提供的光譜訊息及空間解析力等特性之不同，製圖準確度亦有不同，有關 IKONOS、Landsat ETM 以及 SPOT-5 三者之製圖成果，評估如後：

一、IKONOS 影像分類結果之評估

(一)、大氣糾正後之波段分類

表 5 為 IKONOS 大氣糾正後之光譜特徵 4 波段的分類準確度評估表以不同分類法評估所選線之結果也不同，以訓練樣本評估結果來看，三種階層的分類結果都是群系>群團>群

叢，MLC 法的區內分類準確度分別為 34.04%、24.25% 以及 23.71%；BPN 法的區內分類準確度分別為 33.24%、22.96% 以及 23.71%，另外圈選評估樣本來做分類好壞的評估，MLC 法的區外分類準確度分別為 37.59%、10.28% 以及 17.36%；BPN 法的區外分類準確度評估分別為 33.45%、17.13% 以及 10.35%。

IKONOS 影像由於像元解析力很高，全研究區像元數量極大，造成計算機無法負荷，故為投入邏輯迴歸模式分類法之成果。

表 5 IKONOS 大氣糾正後 4 個波段分類準確度評估表

Method		Formation		Alliance		Association	
		OA(%)	kappa	OA(%)	kappa	OA(%)	kappa
MLC	training	34.04	0.2121	24.25	0.1733	23.71	0.1577
	assessing	37.59	0.2178	10.28	0.0244	17.36	0.0739
BPN	training	33.24	0.1930	22.96	0.1603	25.65	0.1831
	assessing	33.45	0.1971	17.13	0.0933	10.35	0.0198

(二)、加入植生指標以及環境因子後之分類結果

表 6 為引入植生指標(Vegetation, VI)以及環境因子等波段後之分類準確度評估表，相較於以大氣糾正後影像 4 波段的分類結果，引入植生指標來評估確實有提升分類準確度之效能，以 MLC 法評估區內分類準確度依群系、群團及群叢分別提升了 38.3%、28.55% 以及 28.06%；BPN 法提升了 39.10%、42.18% 以及 21.94%，另外以 MLC 法評估區外之分類準確度依群系、群團及群叢分別提升了 6.90%、11.06% 以及 -0.33%；BPN 法提升了 11.72%、12.77% 以及 21.20%。

表 6 引入植生指標以及環境因子等波段分類準確度評估表

Method		Formation		Alliance		Association	
		OA(%)	kappa	OA(%)	kappa	OA(%)	kappa
MLC	training	72.34	0.6677	52.80	0.4851	51.77	0.4676
	assessing	44.48	0.3185	21.34	0.1422	17.03	0.0833
BPN	training	72.34	0.6689	65.14	0.6193	47.58	0.4240
	assessing	45.17	0.3187	29.91	0.2351	31.55	0.2430

透過表 5 及 6 之比對結果，顯示了 MLC 分類方法為處理 IKONOS 衛星影像分類時之最適方法，而在 IKONOS 衛星影像之適合分類階層為群系，並隨著階層分類精細度的提升，其分類準確度則反而下降，相對於 BPN 分類方法時，也是以群系為最佳挑選之分類階層，同時期分類準確度也是隨著階層分類精細度之上升而下降。

(三)、分類結果圖

圖 35、36 及 37 為以 IKONOS 影像進行 MLC 法及 BPN 法的群系、群團及群叢分類結果圖，圖 35 上排為以 IKONOS 原始 4 波段為基礎之分類圖，下排則加入植生指標及環境因子等，圖 36、37 上排為以 IKONOS 原始 4 波段為基礎之分類圖，下排則加入植生指標及環境因子等，增加為 11 波段的分類結果圖。

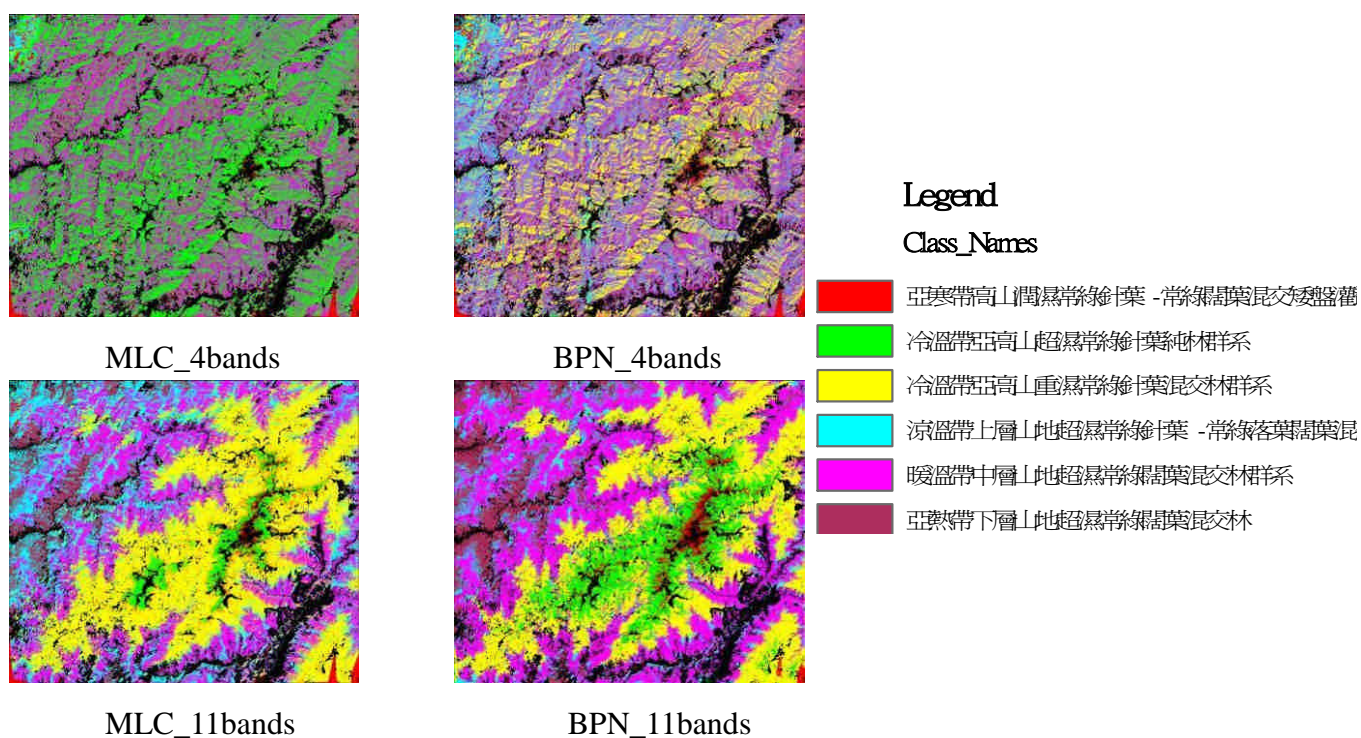


圖 35 IKONOS 光譜影像及植生地形特徵對群系生態單元分類圖

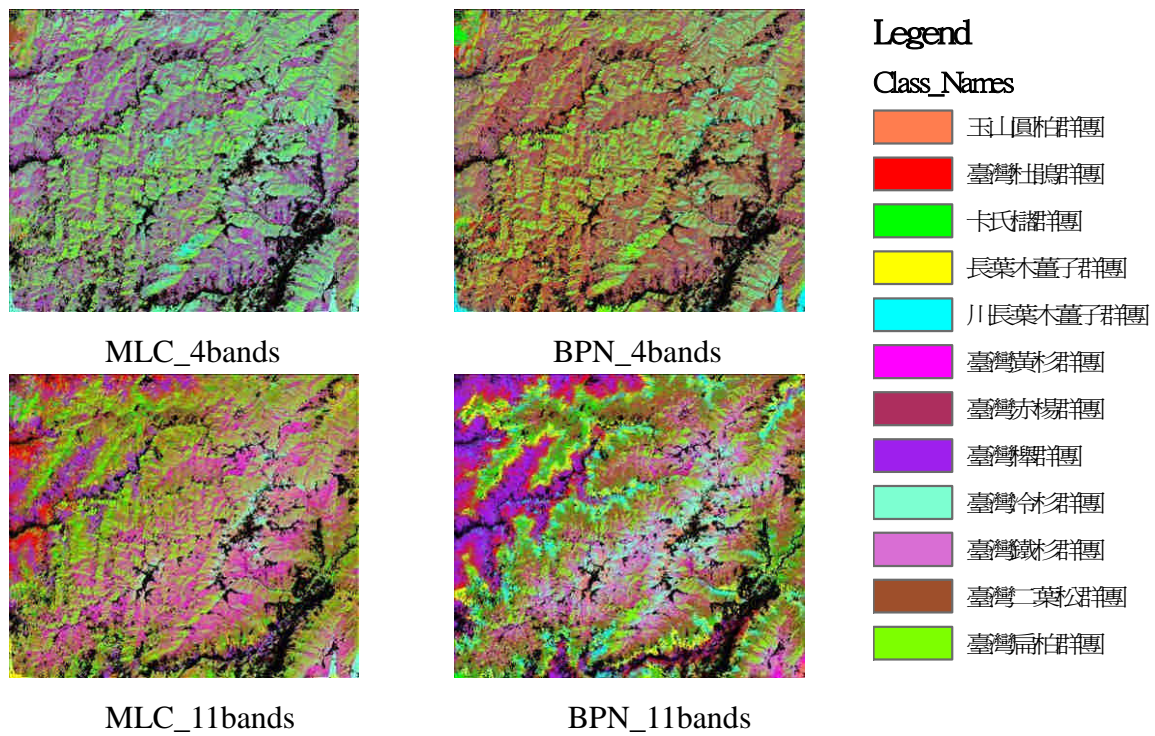


圖 36 IKONOS 光譜影像及植生地形特徵對群團生態單元分類圖

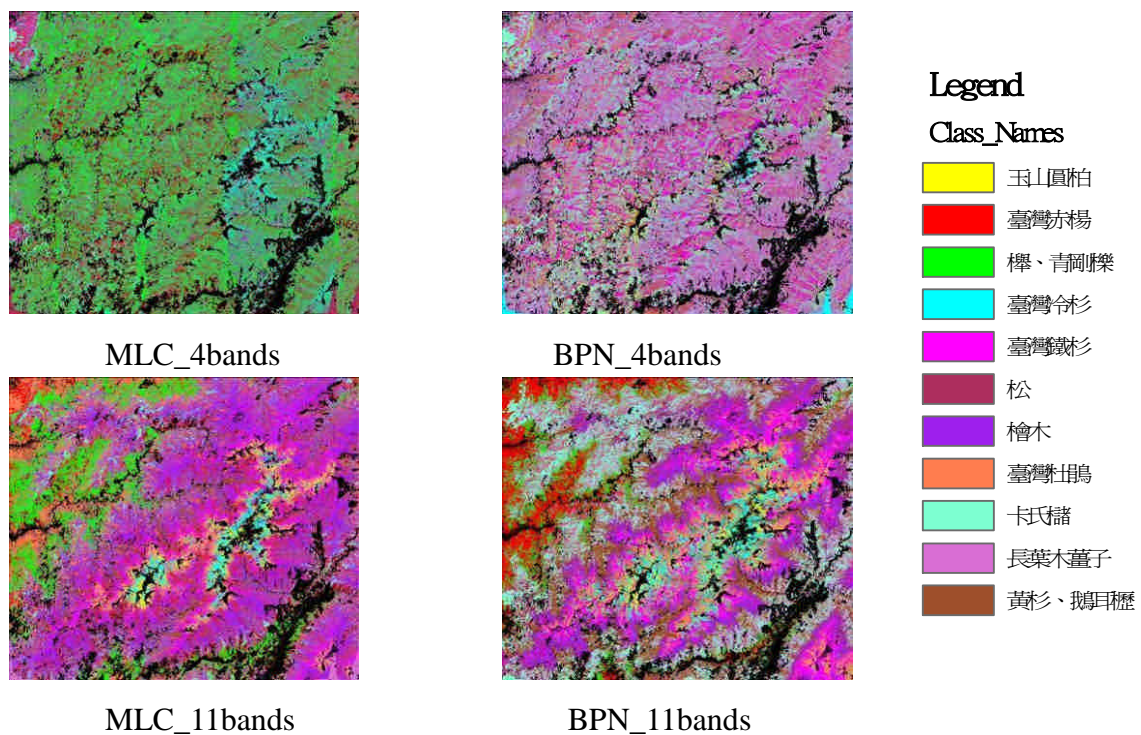


圖 37 IKONOS 光譜影像及植生地形特徵對群叢生態單元分類圖

二、Landsat 影像分類結果之評估

(一)、大氣糾正後之波段分類

表 7 為 Landsat_ETM 大氣糾正後衛星影像 6 波段所分類之準確度評估表，以訓練樣本評估結果來看，三種方法的分類結果不盡相同，於 MLC 分類方法中是群團>群系>群叢、BPN 分類法是群系>群叢>群團以及 MLR 分類法中群系>群叢>群團；MLC 法的區內分類準確度分別為 57.71%、61.84%以及 54.35%；BPN 法的區內分類準確度分別為 61.44%、55.81%以及 58.23%；MLR 法的區內分類準確度分別為 44.15%、38.74%以及 43.71%，另外圈選評估樣本來做分類好壞的評估，MLC 法的區外分類準確度分別為 32.07%、52.49%以及 46.69%；BPN 法的區外分類準確度評估分別為 44.83%、54.05%以及 47.01%；MLR 法的區外分類準確度分別為 20.34%、36.76%以及 40.71%。

表 7 Landsat 大氣糾正後 6 波段分類準確度評估表

Method		Formation		Alliance		Association	
		OA(%)	kappa	OA(%)	kappa	OA(%)	kappa
MLC	training	57.71	0.4933	61.84	0.5832	54.35	0.4965
	assessing	32.07	0.1856	52.49	0.4823	46.69	0.4128
BPN	training	61.44	0.5381	55.81	0.5178	58.23	0.5404
	assessing	44.83	0.3355	54.05	0.4981	47.01	0.4184
MLR	traingin	44.15	0.3246	38.74	0.3314	43.71	0.3801
	assessing	20.34	0.0838	36.76	0.3097	40.71	0.3465

(二)、加入植生指標以及環境因子後之分類結果

表 8 為引入植生指標(Vegetation Index, VI)以及環境因子等波段之分類準確度評估表，相較於以大氣糾正後影像 6 波段的分類結果，進入植生指標來評估確實有提升分類效能，以 MLC 法評估區內分類準確度依群系、群團及群叢分別提升了 32.45%、28.84%以及 31.94%；BPN 法提升了 15.16%、19.80%以及 14.84%；MLR 法提升了 6.38%、0.14%以及 0.81%，另外以 MLC 法評估區外之分類準確度依群系、群團及群叢分別提升了 17.24%、-11.37%以及-3.23%；BPN 法提升了-0.69%、-12.46%以及 0.00%；MLR 法提升了-0.69%、-19.78%以及-12.76%。

表 8 引入植生指標以及環境因子等波段分類準確度評估表

Method		Formation		Alliance		Association	
		OA(%)	kappa	OA(%)	kappa	OA(%)	kappa
MLC	training	90.16	0.8816	90.67	0.8981	86.29	0.8489
	assessing	49.31	0.3948	41.12	0.358	43.46	0.3786
BPN	training	76.60	0.7187	75.61	0.7337	73.06	0.7035
	assessing	44.14	0.3074	41.59	0.3626	47.01	0.4184
MLR	traingin	50.53	0.4001	38.88	0.3323	44.52	0.3895
	assessing	19.66	0.038	16.98	0.0965	27.95	0.2044

透過表 7 與 8 相互比對結果發現，利用 MLC 分類方法分類 Landsat 衛星影像為較適合之方法，而最適合之階層為群系(雖然群團之分類準確度較高，但其區外分類準確度卻較低)，另外雖然群系為最適合之階層，但群團以及群叢之分類準確度也都有 85% 以上。BPN 之方法之分類準確度雖較低於 MLC 法，但也都有 75% 以上之分類能力，且再群團及群叢之分類時，其區外分類之評估反而高於 MLC 法。MLR 分類方法於引入植生指標以及環境因子後，也都擁有提升非類效能之結果，只是其增加之量不多，增加後最高分類準確度為群系，且僅有 50%，顯示該分類方法不適於 Landsat 衛星影像之使用。

(三)、分類結果圖

圖 38、39 及 40 為以 Landsat ETM+影像進行 MLC 法、BPN 法及 MLR 法群系、群團及群叢分類結果圖，圖 38 左排為以 Landsat ETM+原始 6 波段為基礎之分類圖，右排則加入植生指標及環境因子等，增加為 17 波段的分類結果圖；圖 39 及 40 上排為以 Landsat ETM+原始 6 波段為基礎之分類圖，下排則加入植生指標及環境因子等，增加為 17 波段的分類結果圖。

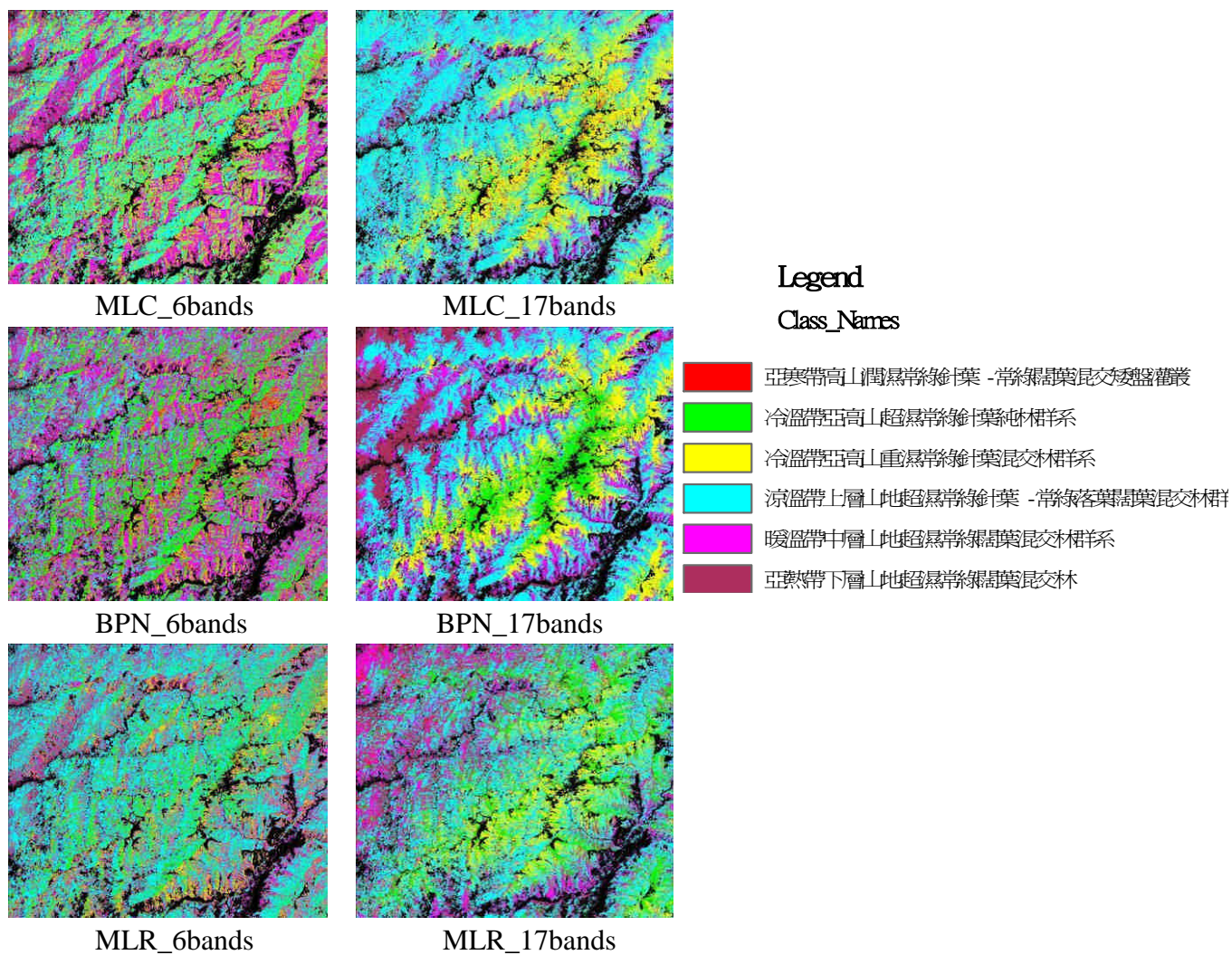


圖 38 Landsat ETM+光譜影像及植生地形特徵對群系生態單元分類圖

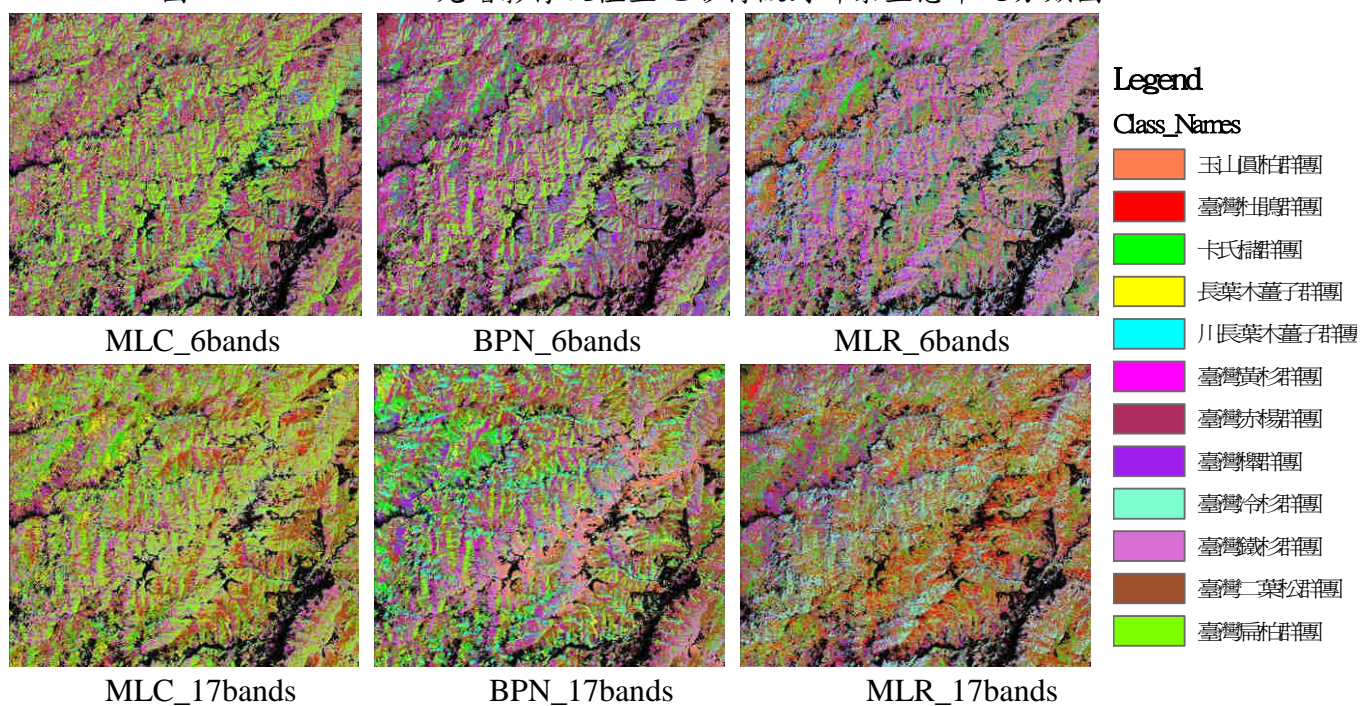


圖 39 Landsat ETM+光譜影像及植生地形特徵對群團生態單元分類圖

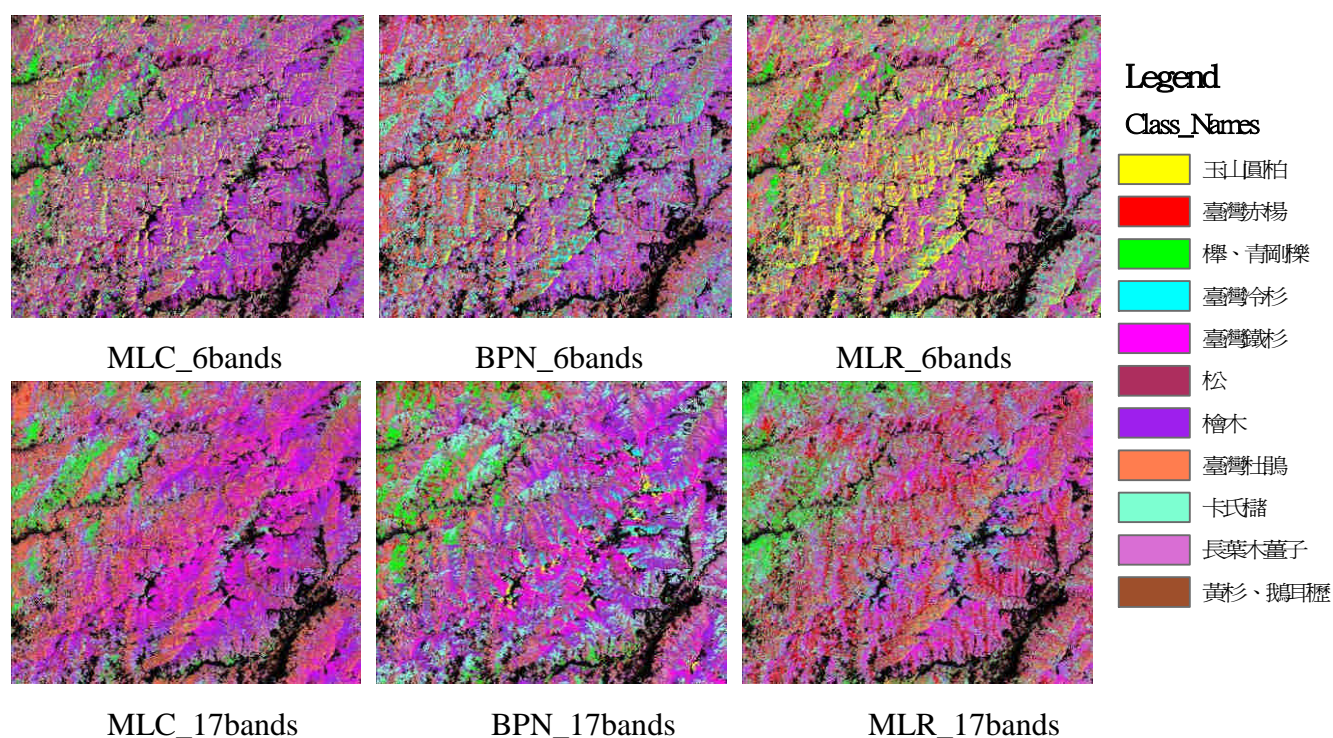


圖 40 Landsat ETM+光譜影像及植生地形特徵對群叢生態單元分類圖

三、SPOT-5 衛星影像分類結果之評估

(一)、大氣糾正後之波段分類

表 9 為 SPOT-5 大氣糾正後的光譜 4 波段分類準確度評估表，以訓練樣本評估結果來看，三種方法的分類結果都是群系>群叢>群團，MLC 法的區內分類準確度分別為 58.78%、39.74%以及 43.55%；BPN 法的區內分類準確度分別為 57.98%、38.02%以及 41.13%；MLR 法的區內分類準確度分別為 48.94%、32.86%以及 33.87%，另外圈選評估樣本來做分類好壞的評估，其三種分類結果都是群系>群團>群叢，MLC 法的區外分類準確度分別為 40.00%、25.70%以及 20.70%；BPN 法的區外分類準確度評估分別為 40.34%、23.21%以及 18.36%；MLR 法的區外分類準確度分別為 37.59%、20.56%以及 16.03%。

表 9 SPOT-5 大氣糾正後 4 波段分類準確度評估表

Method		Formation		Alliance		Association	
		OA(%)	kappa	OA(%)	kappa	OA(%)	kappa
MLC	training	58.78	0.5029	39.74	0.3431	43.55	0.3784
	assessing	40.00	0.2994	25.70	0.19	20.70	0.129
BPN	training	57.98	0.4951	38.02	0.3244	41.13	0.3531
	assessing	40.34	0.269	23.21	0.1594	18.36	0.1076
MLR	traingin	48.94	0.3875	32.86	0.2676	33.87	0.272
	assessing	37.59	0.2673	20.56	0.1334	16.03	0.0749

(二)、加入植生指標以及環境因子後之分類結果

表 10 為引入植生指標(Vegetation Index, VI)以及環境因子等波段後之分類準確度評估表，相較於以大氣糾正後影像 4 波段的分類結果，引入植生指標來評估分類效能確實有提升之實，以 MLC 法評估區內分類準確度依群系、群團及群叢分別提升了 26.33%、40.46% 以及 36.29%；BPN 法提升了 18.35%、35.29% 以及 28.71%；MLR 法提升了-9.57%、8.75% 以及-4.84%，以 MLC 法評估區外分類準確度依群系、群團及群叢分別提升 0.00%、3.58% 以及 2.17%；BPN 法提升了 10.00%、7.17% 以及 21.54%；MLR 法提升了-13.10%、-0.16% 以及-2.67%。

表 10 引入植生指標以及環境因子等波段分類準確度評估表

Method		Formation		Alliance		Association	
		OA(%)	kappa	OA(%)	kappa	OA(%)	kappa
MLC	training	85.11	0.8204	80.20	0.784	79.84	0.7782
	assessing	40.00	0.2814	29.28	0.2287	22.87	0.1548
BPN	training	76.33	0.7157	73.31	0.7089	69.84	0.6684
	assessing	50.34	0.3868	30.37	0.2414	39.90	0.3349
MLR	traingin	39.36	0.2754	41.61	0.3619	29.03	0.2186
	assessing	24.48	0.0955	20.41	0.1295	13.36	0.0468

透過表 9 及 10 之比對結果，引入植生指標與環境因子之圖層可以提高分類之準確度，最適於使用於 SPOT-5 之分類方法為 MLC 分類法，而最適合 SPOT-5 衛星影像尺度之分類

階層為群系，用 MLC 法分類群團及群系之效果時也都有 80% 的分類準確度，只是相對於訓練樣本之分類，其區外分類準確度皆不盡理想僅有 29.28% 以及 22.87%。BPN 分類法其準確度跟 MLC 一樣，也是群系>群團>群叢，雖然訓練樣本之分類準確度較低於 MLC 法。但是其區外之分類準確度卻較高於 MLC 法，MLR 法則與 Landsat 一樣，不管是訓練樣本還是區外分類，其結果不僅不甚理想，反而分類準確度還降低了。

(三)、分類結果圖

圖 41、42 及 43 為以 SPOT-5 影像進行 MLC 法、BPN 法及 MLR 法群系、群團及群叢分類結果圖，圖 41 左排為以 SPOT-5 原始 4 波段為基礎之分類圖，右排則加入植生指標及環境因子等，增加為 15 波段的分類結果圖；圖 42 及 43 上排為以 SPOT-5 原始 4 波段為基礎之分類圖，下排則加入植生指標及環境因子等，增加為 15 波段的分類結果圖。

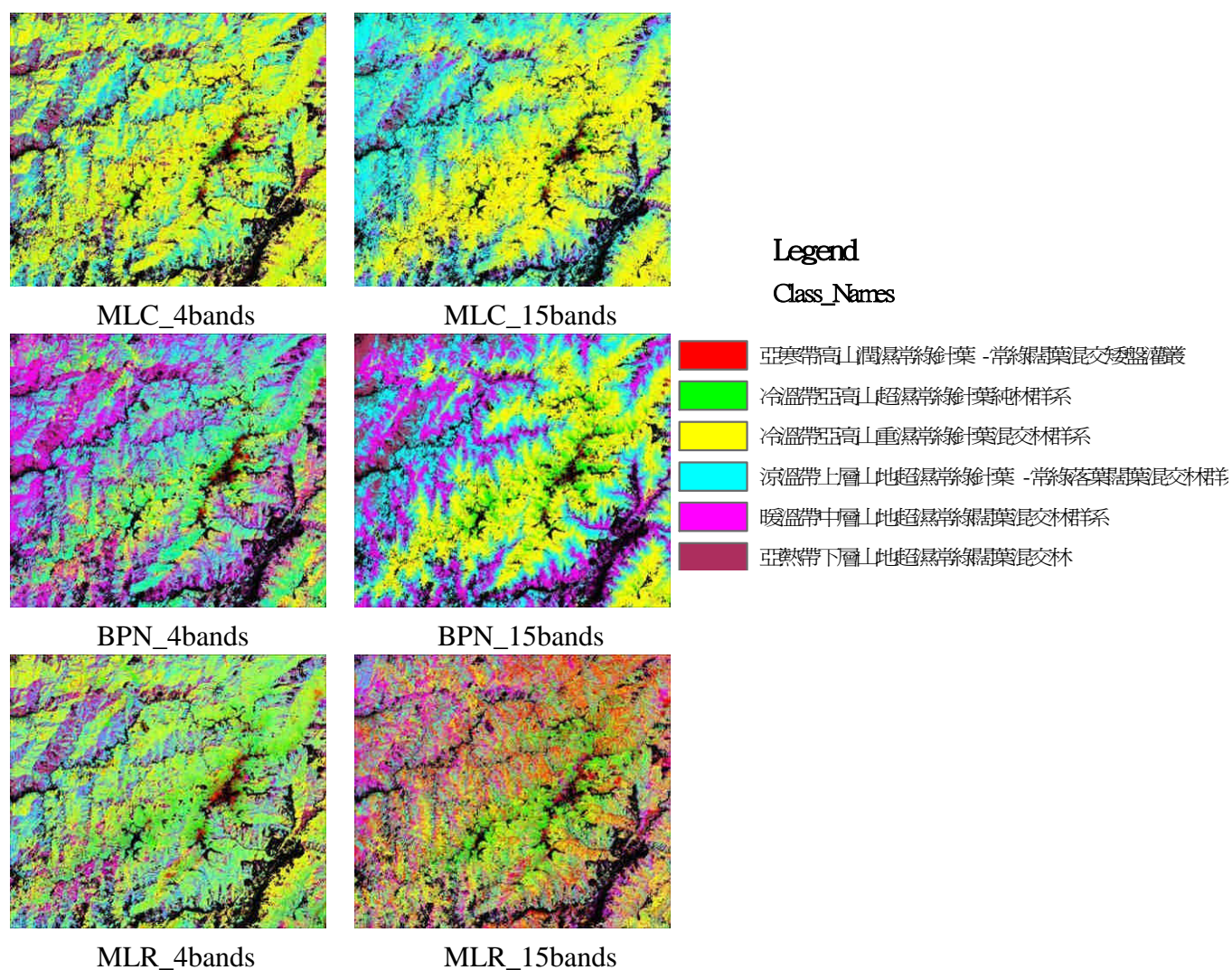


圖 41 SPOT-5 光譜影像及植生地形特徵對群系生態單元分類圖

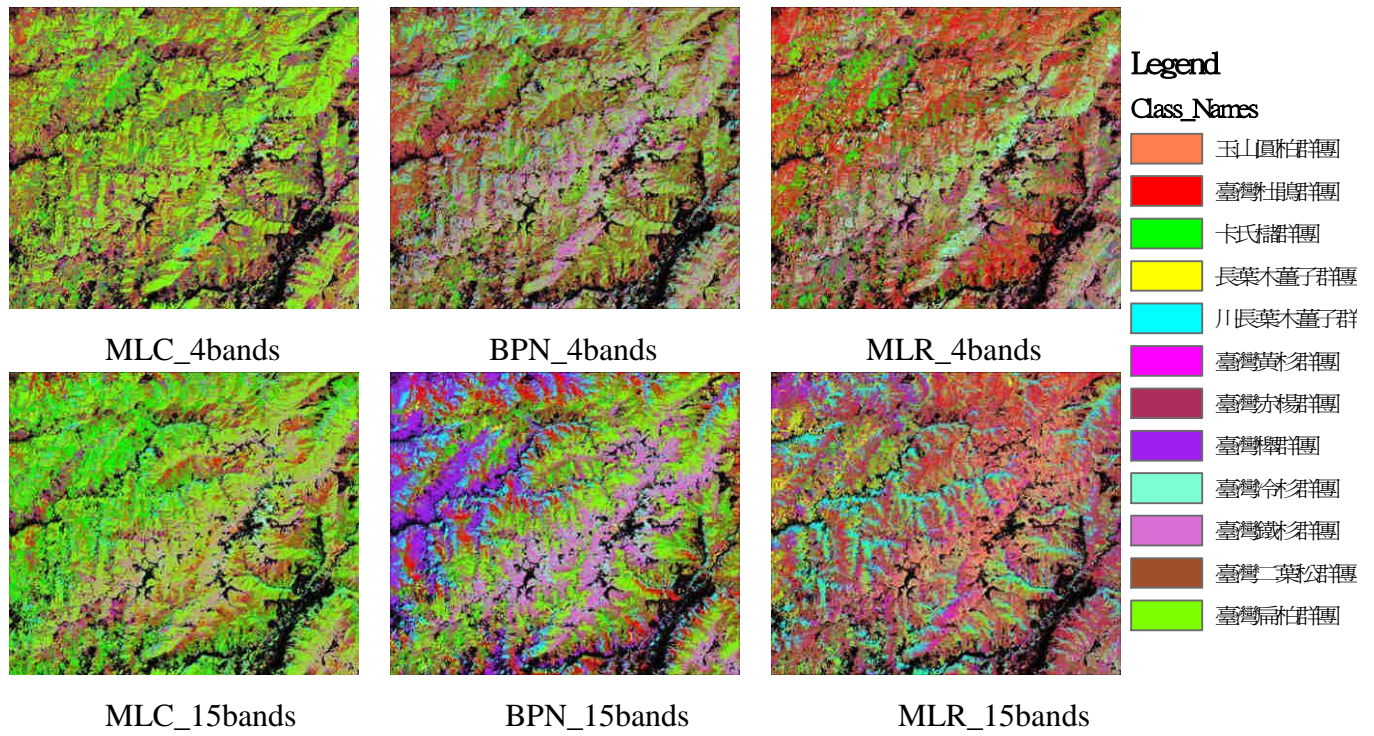


圖 42 SPOT-5 光譜影像及植生地形特徵對群團生態單元分類圖

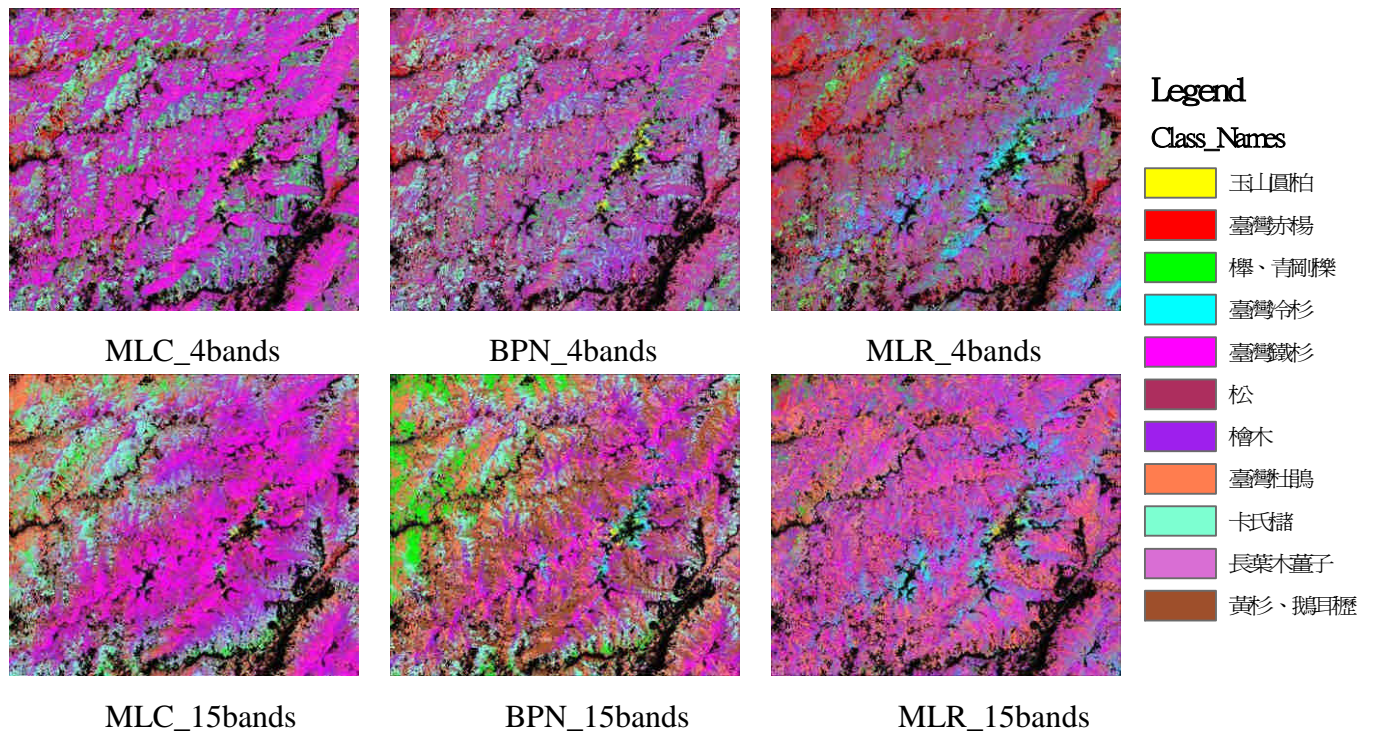


圖 43 SPOT-5 光譜影像及植生地形特徵對群叢生態單元分類圖

第六節、辛樂克颱風前後期地類之變遷

一、園區整體變遷資訊

在對於辛樂克颱風對雪霸國家公園之影響分析當中，我們選定了三個植生指標用做探討辛樂克颱風對於雪霸國家公園植群破壞之變遷分析。

(一)、辛樂克颱風前後規整差植生指標

如下圖 44，綠色植物因有吸收藍光、紅光及強烈反射近紅外光之特性，可用於植物資源之探測，判別植生反色量之多寡可用近紅外光及紅光兩個波段數值之差與和的比值計算出 NDVI，以分析植生情況。

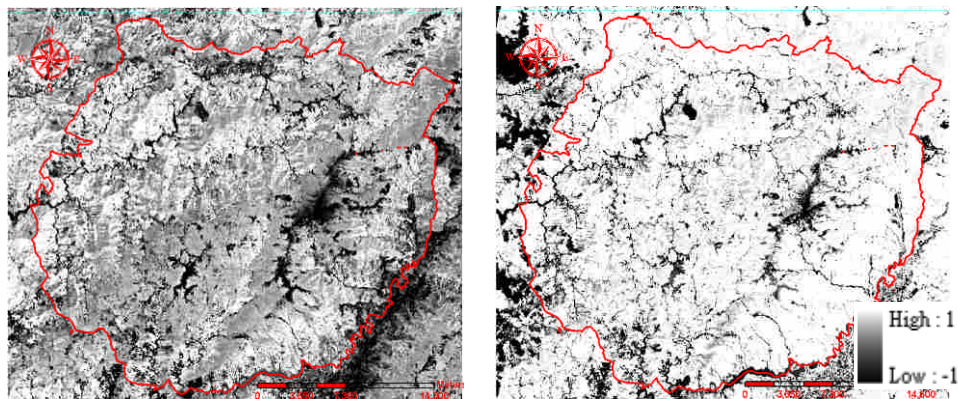


圖 44 辛樂克颱風前期 NDVI 圖(左)以及後期 NDVI 圖(右)

圖 45 為颱風後 NDVI 值減去颱風前 NDVI 值所產生的影像，數值為正值(越白)即代表植生的增加，反之則為植生的減少(越黑)，灰色則為不變，圖中左半邊深黑色區塊為雲所導致；由此圖中可以發現，就雪霸國家公園整體而言，2008 年 2 月至 2008 年 9 月為止，植生的恢復量比裸露地增加量的量還多。

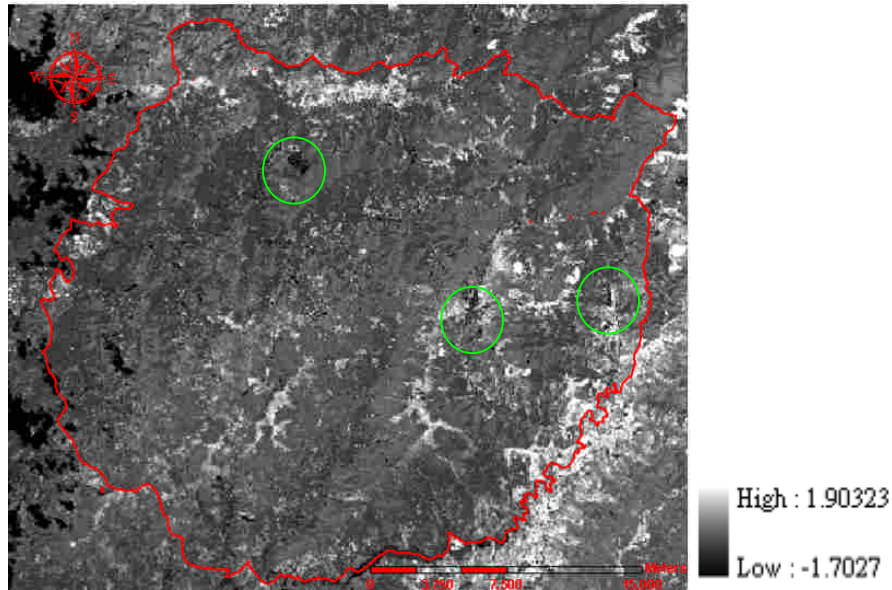


圖 45 辛樂克颱風前後期 NDVI 影像相減圖(後期減前期)

(二)、辛樂克颱風前後 SAVI 植生指標圖

如下圖 46 所示，圖中 SAVI 數值越高(白)代表 2 月到 9 月的時間內是屬於增加之範圍，反之則為減少(黑，圖中綠圈範圍)，圖中左邊黑色區塊為雲所導致，並非植生之破壞。

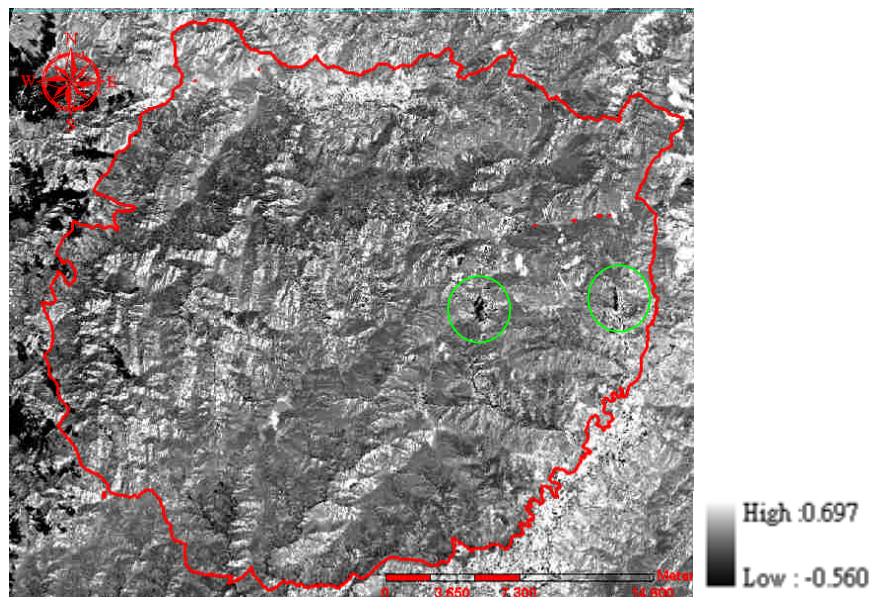


圖 46 辛樂克颱風前後期 SAVI 影像相減圖(後期減前期)

(三)、辛樂克颱風前後 LAI 指數

如下圖 47 所示，圖中數值越高(白)代表 2 月到 9 月的時間內是屬於增加之範圍，反之則為減少(圖中綠圈範圍)，圖中左邊黑色區塊為雲所導致，並非植生之破壞。

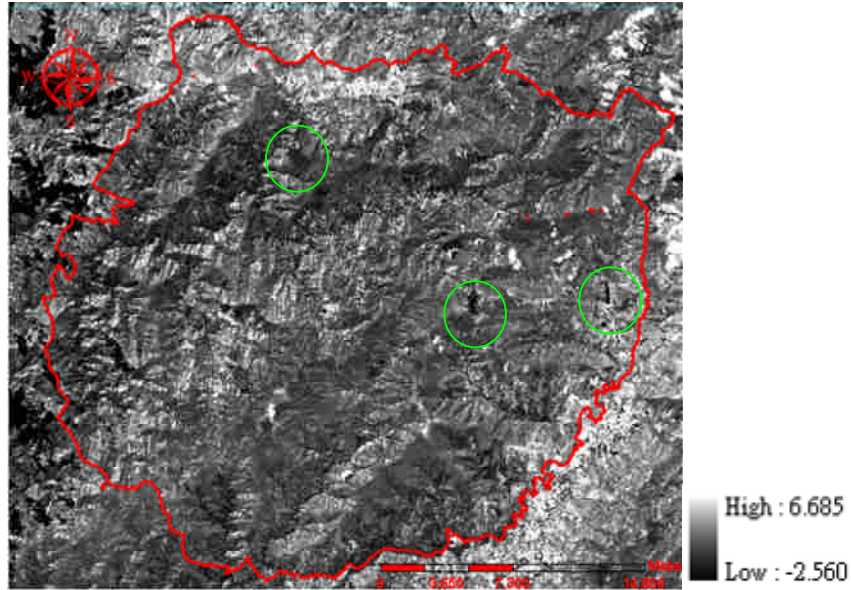


圖 47 辛樂克颱風前後期 LAI 影像相減(後期減前期)

二、七家灣溪流流域變遷資訊

本研究使用 SPOT-5 衛星前後期影像，透過影像裁切取得七家灣溪流流域被覆圖如下圖 48(樣區大小共計 1305612 像元)，影像經過植生指標計算處理後可以獲得衍生之 LAI 植生指標圖層如下圖 49，緊接著透過前後期 LAI 圖層的相減，取得七家灣溪流流域被覆變遷圖，如下圖 50，大於 0 之數值(越白)表示該像元，於 2008 年 2 月至 2008 年 9 月這段期間具有植生之增加，反之，小於 0 之數值(越黑)，代表該像元於該段時間內植生之破壞，於此七家灣溪流流域範圍內我們可以找到幾個裸露地增加變化較明顯之地區(圖中圈選範圍)。

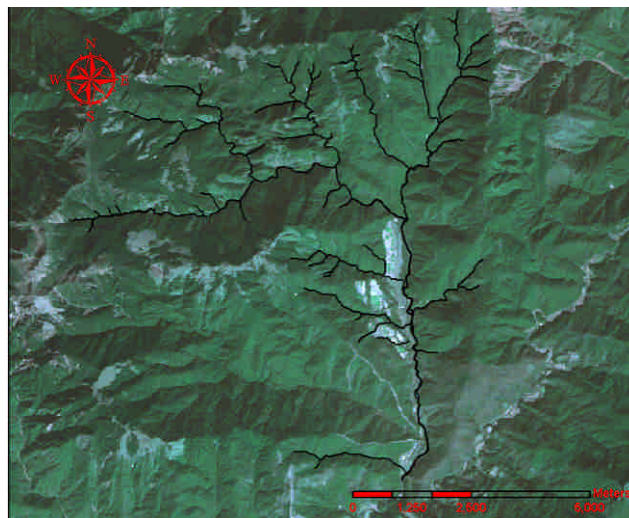


圖 48 七家灣溪流流域森林地表被覆圖

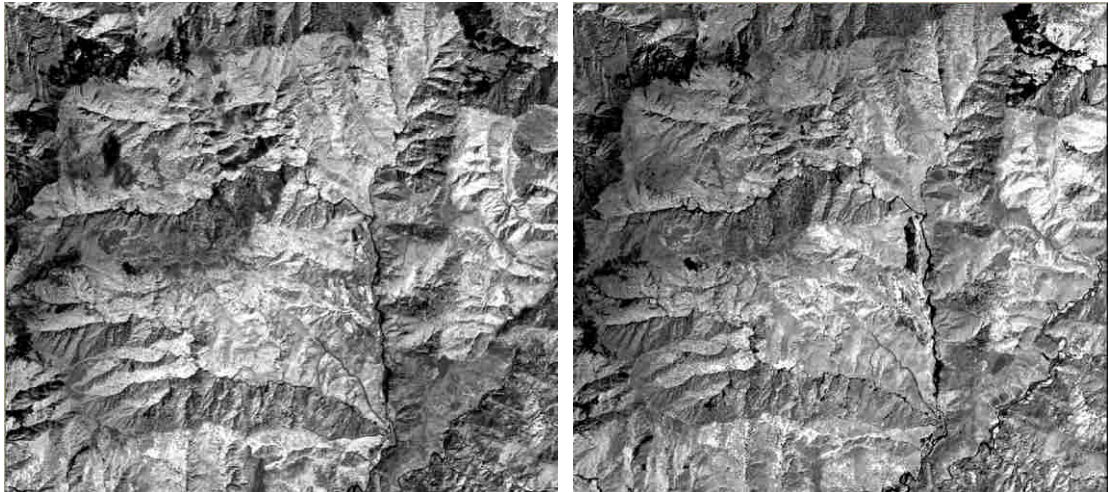


圖 49 辛樂克颱風前(左)後(右)七家灣流域葉面積指數圖

圖 50 中綠色範圍為七家灣溪上游部分，辛樂克颱風對該地植生造成破壞之後，除了使裸露地範圍增加以外，推測大雨過後將為七家灣溪帶來大量砂石，使七家灣溪流域溪水混濁度大量提高，而大量砂石沉澱所需要之時間自然比以前長。

圖 50 中紅圈範圍為雪之影響，因為該年度積雪持續至 3 月份，故當使用 2 月影像時，該部份會受到影響。

另外圖 50 中黃圈範圍也是裸露地明顯增加的區域之一，且該地點緊鄰七家灣溪，是另一個造成七家灣溪河水混濁度自然恢復時間增長的原因。

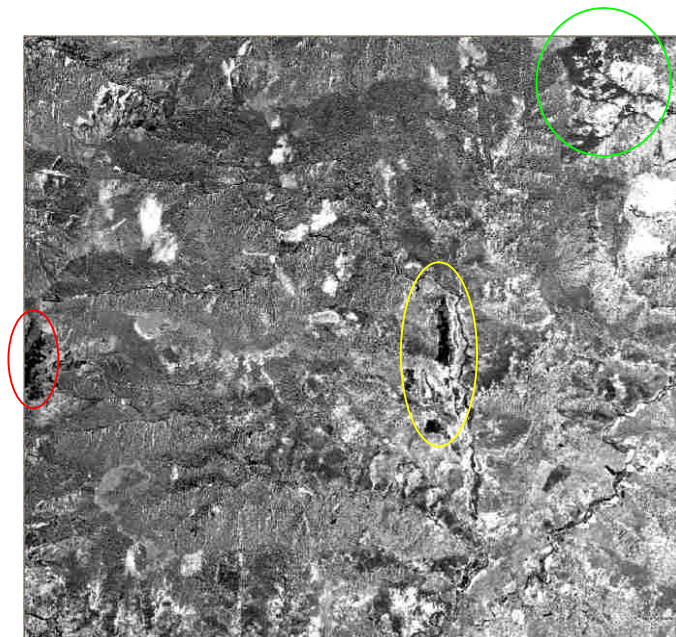


圖 50 七家灣流域裸露地變遷分析圖

為了更確定該區域位置為辛樂克颱風所造成之影響，本研究將颱風前 LAI 植生指標影像與 ETM 之葉面積指數影像相減，取得 2003 年至 2008 年 2 月為止葉面積指數之變遷如下圖，目的在於將 2001 年 3 月至 2008 年 2 月為止之影響扣除。圖 51 中藍圈範圍黑色部分為雲層所造成之影響，我們可以輕易的比對此圖與上圖之間相同位置之顏色變化，發現此三個區域確實為辛樂克颱風對七家灣溪流流域所造成之影響，在扣除雪的影響後(紅圈位置，共計 2722 個像元)，計算裸露地變遷共增加了 70533 個像元，增加百分比為 5.4%。

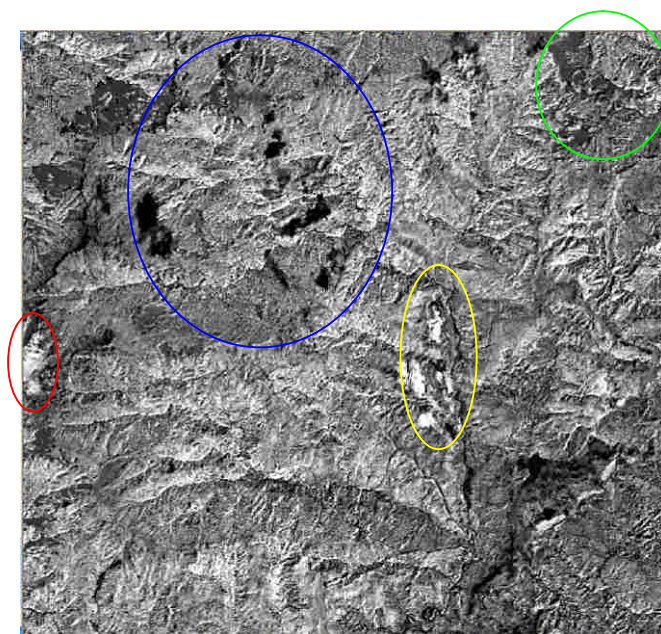


圖 51 2001 年至 2008 年 2 月葉面積指數變遷分析圖

第五章 結論與建議

本研究以 IKONOS、Landsat7 ETM+、以及 SPOT-5 衛星影像為基礎，探討應用於生態系特徵分類之可行性，並分成不同階層(群系、群團以及群叢)以及三種不同之分類方法(MLC、BPN 以及 MLR)來討論其分類精度，最後再加上植生指標(AFRI、II、SR、RSR、NDVI 及 SAVI)以及環境因子等圖層(DEM、坡度、坡向、天空光以及 LAI)特徵後，確實有提升分類效能的潛力，證實多光譜分析法對於提升分類精度有一定的幫助。

另就不同衛星影像分別施以三種分類方法所得之準確度結果來看，IKONOS 衛星影像之分類結果，考量區外分類準確度之結果，群系、群團及群叢各組類的分類準確度是以 BPN 法最佳，分別從 33.24% 提升到 72.34%；22.96% 提升到 65.14%；25.65% 提升到 47.58%，區外分類精度約為區內分類精度之 5-6 成，分別提升了 11.72%、12.78% 及 21.2%。Landsat 衛星影像之分類結果，考量區外分類準確度之結果，群系、群團及群叢各組類的分類準確度也是以 MLC 法最佳，分別從 57.71% 提升到 90.16%；61.84% 提升到 90.67%；54.35% 提升到 86.29%，區外分類精度約為區內分類精度之 5 成，分別提升了 17.24%、-11.07% 及 -2.63%。SPOT-5 衛星影像之分類結果，考量區外分類準確度之結果，群系、群團及群叢各組類的分類準確度是以 BPN 法最佳，分別從 57.98% 提升到 76.33%；38.02% 提升到 73.31%；41.13% 提升到 69.84%，區外分類精度約為區內分類精度之 5-6 成之間，各別提升了 10.00%、7.16% 及 21.54%。

另探討生態特徵分類之可行性，大致上是以群系的分類準確度最高，其次為群團，最後為群叢，大致上與階層之分類相符，分類得越精細較難分類準確，越易有光譜混淆的情形發生。比較三種影像的分類結果，是以分類 Landsat7 ETM+ 的結果最佳。而分類方法的比較上，MLC 法較 BPN 及 MLR 法會有較高的區內分類準確度，但區外分類準確度並不一定有較佳的結果，反而 BPN 法在區外評估上的表現較佳，且區內評估也接近 MLC 法之分類精度，MLR 法則都表現不佳，與上述二法有明顯的差距。

而於探討衛星影像解析度大小與生態系特徵分類之相關性時，發現解析度越高之影像(以 IKONOS 為例)，於未引入植生指標以及環境因子等波段之前，其分類準確度皆不到 50%，透過資料維度擴展後，例如本研究中所引入之各項植生指標以及環境因子等圖層，增加高解析度影像分類之準確度(結果使分類準確度增加了 38.3% 達到 72.34%)。

另使用兩幅不同時期之 SPOT-5 衛星影像，探討辛樂克颱風對雪霸國家公園區內植生所造成破壞之變遷分析，不管從 SAVI、NDVI 還是 LAI 的圖層來看，結果皆顯示了，雪霸

國家公園園區內植生恢復量遠大於裸露地範圍之增加量。

在結果圖當中，我們發現了幾個明顯的裸露地增加地區，其一為中山崩塌地(左邊綠色圈選範圍)，建議未來可以透過多時期影像，長期監測並探討該地區裸露地之變遷情形。另圖中間位置圈選範圍，因該年度積雪日期持續至3月份才消退，而此次使用之影像日期為2月，故該位置為雪之影響。

最後就七家灣流域被覆之裸露地增加所進行之變遷分析部分，由颱風前後兩期影像相減所得之結果，我們可以看出三個主要明顯且大區塊之裸露地增加區域(如圖 49，而所增加之裸露地總像元為 70533 個像元，佔該影像範圍之 5.4%

本次研究因部份影像日期受到雪之影響，故未來於影像日期選擇方面將更謹慎選擇，建議選擇不同年度同時期之影像來做變遷之分析，而在災害分析方面，建議於天災發生後，即馬上利用災害前後期衛星影像，快速的評估受災程度與面積，省卻大量人力、物力與時間的消耗。

於國家公園長期整體變遷方面，建議之研究頻度是以年為單位，建議可以分兩個階段來實施，以 921 大地震為分界線，探討 921 大地震之前，評估植生管理成效，以及 921 大地震之後，植生恢復程度，另透過 921 大地震前後期影像探討該次地震對於園區所造成的破壞。

第六章 參考文獻

- 呂金誠、曾彥學、林鴻志、陳韋志 (2007) 尖石地區植群生態調查及檜木林結構分析。內政部營建署雪霸國家公園管理處 96 年度委託研究計畫報告。
- 沈明來 (2002) 試驗設計學。九州圖書文物有限公司。714 頁。
- 林永發 (1990) 雪霸國家公園生物多樣性保育策略。環境教育季刊 42: 49-58。
- 林永發、陳裕良、邱清安 (2001) 雪霸國家公園生態資料庫之建立。內政部營建署國家公園管理處 90 年度自行研究案報告。
- 林淑媛 (2003) 地形地質均質區劃分與山崩因子探討。國立中央大學應用地質研究所碩士論文。156 頁。
- 林金樹 (2001) 影像參數加權統計法 PN 指標於土地利用型高光譜特徵選粹上之研究。航測及遙測學刊 6(2): 1-20。
- 林金樹、劉懿聰 (2004) TIN 三角形截面高程變異容許量對利用等高線重建高精度 DTM 資料的影響之研究。國立嘉義大學學報, 75: 199-222。
- 周天穎、陳美心、劉怡萱 (2001) 雪霸國家公園地理資訊系統整合研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處 90 年度委託研究計畫報告。
- 周天穎、陳美心、劉怡萱、林育生 (2003) 雪霸國家公園地理資訊系統整合研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處 92 年度委託研究計畫報告。
- 周天穎、陳美心、劉怡萱、邱守榮 (2002) 雪霸國家公園地理資訊系統整合研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處 91 年度委託研究計畫報告。
- 逢甲大學 GIS 中心 (2007) 雪霸國家公園自然資源決策管理資訊系統委託規劃案。內政部營建署雪霸國家公園管理處 96 年度委託研究計畫報告。
- 陳子英、吳欣玲、洪宗泰、李智群、李孝勤、林秀蓉、陳建忠、吳若宣、陳信佑、陳薇如 (2007) 大同地區有勝流域植群調查研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處 96 年度委託研究計畫報告。
- 陳明義、施纓煜 (1997) 野火影響環山與雪山地區植群之研究(I)。內政部營建署雪霸國家公園管理處 86 年度委託研究計畫報告。
- 楊國禎、吳聖傑、依諾尤命、黃江綸、張又敏、陳仁芳 (2007) 雪霸國家公園東北區外檜木林分佈與物種組成之調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處 96 年度委託研究

計畫報告。

歐辰雄、呂金誠、曾彥學、林鴻志 (2006) 雪霸國家公園植群分類及空間分布之研究(一)。

內政部營建署雪霸國家公園管理處 95 年度委託研究計畫報告。

歐辰雄、呂金誠、曾彥學、林鴻志 (2007) 雪霸國家公園植群分類及空間分布之研究(二)。

內政部營建署雪霸國家公園管理處 96 年度委託研究計畫報告。

葉志聖 (1995) AMOEBA 影像分類技術之研究。國立交通大學土木工程學系碩士論文。

Hardisky, M. A., Klemas, V., & Smart, R. M. (1983). The influences of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral reflectance of *Spartina alterniflora* canopies.

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49, 77-83.

Herstein, I.N. and D.J. Winter (1988) *A Primer on Linear Algebra*. NY: Macmillan Publishing Company.

Mutanga, O. and A. K. Skidmore (2004) Integrating Imaging Spectroscopy and Neural Networks to Map Grass Quality in the Kruger National Park, South Africa. *Remote Sensing of Environment* 90:104-115.

國立中央大學太空及遙測研究中心，衛星簡介。

<http://www.csrnr.ncu.edu.tw/08CSRWeb/ChinVer/C6TechSupp/Optical/Optical.php>

國家公園資訊，雪霸國家公園。

<http://www.spnp.gov.tw/travel/park03.html>

附錄一 LANDSAT MLR 法求出之迴歸公式

1. 大氣糾正後之六波段

F2 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(174.9648 + 16.1841(ETM1) + 7.3051(ETM2) - 46.7335(ETM3) - 1.9040(ETM4) + 13.0665(ETM5) - 20.2086(ETM6))}}$$

F3 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(35.2921 - 15.8971(ETM1) + 19.7169(ETM2) - 6.0465(ETM3) - 0.9667(ETM4) - 7.8299(ETM5) + 14.9823(ETM6))}}$$

F4 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(34.5077 + 43.0630(ETM1) - 38.8648(ETM2) - 107.4371(ETM3) + 9.0982(ETM4) + 11.5872(ETM5) - 8.8905(ETM6))}}$$

F5 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(8.5823 - 13.5837(ETM1) + 7.8764(ETM2) - 17.5263(ETM3) + 1.5433(ETM4) - 11.2109(ETM5) + 24.9814(ETM6))}}$$

F6 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(68.9790 - 48.7642(ETM1) - 29.0985(ETM2) - 39.6279(ETM3) + 7.2434(ETM4) + 14.1344(ETM5) - 21.2120(ETM6))}}$$

A2 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(117.2551 + 166.6804(ETM1) - 101.1610(ETM2) + 2.3562(ETM3) - 19.2668(ETM4) + 31.3346(ETM5) - 6.2233(ETM6))}}$$

A4 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(168.8908 + 150.2906(ETM1) - 13.3564(ETM2) - 21.7512(ETM3) - 28.4311(ETM4) + 34.8962(ETM5) - 15.0531(ETM6))}}$$

A6 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(120.4435 + 153.5575(ETM1) - 54.0611(ETM2) + 20.4690(ETM3) - 17.1108(ETM4) + 37.3823(ETM5) - 30.7290(ETM6))}}$$

附錄一 LANDSAT MLR 法求出之迴歸公式(續)

A7 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(297.4644 + 202.6972(ETM1) - 123.6611(ETM2) + 3.1684(ETM3) - 15.7934(ETM4) + 25.4546(ETM5) - 10.0075(ETM6))}}$$

A11 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(4.3663 + 1.6949(ETM1) + 1.0679(ETM2) - 1.3886(ETM3) + 0.1263(ETM4) - 0.3112(ETM5) + 0.3640(ETM6))}}$$

A12 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(5.7136 + 1.7782(ETM1) + 0.9190(ETM2) - 1.3899(ETM3) + 0.0586(ETM4) - 0.2090(ETM5) + 0.5428(ETM6))}}$$

A13 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(865.8421 - 92.6164(ETM1) - 139.1074(ETM2) + 283.0111(ETM3) + 5.9652(ETM4) - 149.4805(ETM5) + 181.8059(ETM6))}}$$

A14 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(184.1825 + 268.8837(ETM1) - 41.9720(ETM2) - 119.6747(ETM3) - 21.2936(ETM4) + 41.1448(ETM5) - 11.0739(ETM6))}}$$

A15 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(331.6658 + 143.0301(ETM1) - 46.5057(ETM2) + 15.1896(ETM3) - 14.8473(ETM4) + 36.9479(ETM5) - 28.4742(ETM6))}}$$

A17 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(4.4925 + 2.0548(ETM1) + 0.5818(ETM2) - 0.6190(ETM3) + 0.1427(ETM4) - 0.7286(ETM5) + 1.1229(ETM6))}}$$

A18 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(997.8258 + 81.1406(ETM1) - 30.6832(ETM2) + 66.0729(ETM3) - 21.4665(ETM4) - 17.4045(ETM5) + 11.7282(ETM6))}}$$

G2 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(35.4570 + 1.6796(ETM1) - 1.5433(ETM2) - 0.7036(ETM3) - 0.5193(ETM4) - 0.0853(ETM5) + 0.3260(ETM6))}}$$

附錄一 LANDSAT MLR 法求出之迴歸公式(續)

G3 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(31.4180 + 0.9201(ETM1) - 0.3646(ETM2) - 1.1762(ETM3) - 0.1747(ETM4) - 0.0172(ETM5) - 0.3835(ETM6))}}$$

G4 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(21.0790 + 0.3595(ETM1) - 0.7996(ETM2) + 0.1651(ETM3) - 0.2642(ETM4) + 0.0979(ETM5) - 0.1118(ETM6))}}$$

G5 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(19.5242 + 0.4070(ETM1) + 0.5168(ETM2) - 1.1282(ETM3) - 0.1305(ETM4) - 0.0462(ETM5) - 0.1568(ETM6))}}$$

G6 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(21.0776 - 0.0458(ETM1) - 1.1001(ETM2) + 0.4651(ETM3) - 0.3284(ETM4) + 0.1794(ETM5) - 0.1299(ETM6))}}$$

G7 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(297.4644 + 202.6972(ETM1) - 123.6611(ETM2) + 3.1684(ETM3) - 15.7934(ETM4) + 25.4546(ETM5) - 10.0075(ETM6))}}$$

G8 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(17.0568 + 0.7980(ETM1) - 0.4772(ETM2) - 0.0215(ETM3) - 0.1202(ETM4) - 0.0033(ETM5) - 0.1929(ETM6))}}$$

G9 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(26.5042 + 0.0855(ETM1) - 1.6938(ETM2) + 1.8621(ETM3) - 0.5545(ETM4) + 0.3107(ETM5) - 0.5036(ETM6))}}$$

G10 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(8.9034 - 0.7710(ETM1) - 0.5330(ETM2) - 0.6023(ETM3) + 0.1988(ETM4) - 0.3845(ETM5) + 0.2995(ETM6))}}$$

G11 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(163.3872 + 2.8776(ETM1) + 13.9502(ETM2) - 8.7870(ETM3) - 2.2759(ETM4) - 2.3633(ETM5) - 3.1550(ETM6))}}$$

附錄一 LANDSAT MLR 法求出之迴歸公式(續)

2. 引入植生指標以及環境因子等波段後

F2 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(313.9 + 2.9(B1) + 3.8(B2) - 4.4(B3) + 0.7(B4) - 3.0(B5) + 3.2(B6) - 10.8(B7) + 8.4(B8) + 3.7(B9) - 2.6(B10) + 0.3(B11) + 5.6(B12) + 0.01(B13) - 11.6(B14) + 0.2(B15) + 1.3(B16) + 0.01(B17))}}$$

F3 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(394.0 - 1.2(B1) + 0.4(B2) + 8.1(B3) - 3.4(B4) - 2.6(B5) + 2.7(B6) - 7.8(B7) + 6.1(B8) + 15.4(B9) - 1.4(B10) - 14.9(B11) - 17.1(B12) + 0.04(B13) - 1.6(B14) + 0.2(B15) - 1.4(B16) + 0.3(B17))}}$$

F4 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(1563.3 + 7.3(B1) + 10.1(B2) - 15.3(B3) + 5.3(B4) - 6.8(B5) + 3.9(B6) - 31.7(B7) + 24.5(B8) + 0.7(B9) - 3.6(B10) + 1.1(B11) - 16.5(B12) + 0.01(B13) - 3.0(B14) + 1.6(B15) - 1.9(B16) - 0.1(B17))}}$$

F5 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(357.8 + 0.5(B1) + 2.0(B2) - 4.0(B3) - 0.1(B4) - 2.7(B5) + 3.0(B6) + 4.0(B7) - 4.4(B8) + 17.6(B9) - 1.2(B10) - 16.3(B11) + 10.9(B12) - 0.03(B13) - 4.7(B14) + 0.1(B15) + 1.4(B16) + 0.1(B17))}}$$

F6 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(386.3 - 0.5(B1) + 3.2(B2) + 1.2(B3) - 0.8(B4) - 0.5(B5) - 1.1(B6) - 4.8(B7) + 3.3(B8) - 3.4(B9) - 0.5(B10) + 4.1(B11) - 5.2(B12) - 0.03(B13) - 7.3(B14) + 0.3(B15) - 1.0(B16) + 0.1(B17))}}$$

A2 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(1624.4 + 15.3(B1) + 18.5(B2) - 18.6(B3) - 3.6(B4) + 0.4(B5) - 0.1(B6) - 12.1(B7) + 11.1(B8) + 29.6(B9) - 1.7(B10) - 33.3(B11) - 39.9(B12) - 0.04(B13) - 9.8(B14) - 2.4(B15) - 0.9(B16) + 0.2(B17))}}$$

A4 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2058.4 + 7.5(B1) + 18.5(B2) - 6.8(B3) - 8.7(B4) + 3.1(B5) - 1.37(B6) - 8.3(B7) + 9.1(B8) + 33.8(B9) + 2.1(B10) - 41.2(B11) - 52.8(B12) - 0.03(B13) - 10.5(B14) - 2.9(B15) - 1.8(B16) + 0.5(B17))}}$$

A6 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(1606.2 + 3.1(B1) + 29.1(B2) - 7.9(B3) - 12.4(B4) + 4.7(B5) - 5.6(B6) + 0.6(B7) + 0.002(B8) + 28.0(B9) + 0.9(B10) - 34.1(B11) - 46.4(B12) - 0.04(B13) - 12.3(B14) - 2.9(B15) - 1.0(B16) + 0.7(B17))}}$$

A7 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2061.6 + 3.8(B1) + 22.8(B2) - 10.1(B3) - 7.2(B4) + 3.2(B5) - 1.9(B6) - 3.6(B7) + 4.6(B8) + 28.6(B9) + 2.4(B10) - 36.1(B11) - 58.1(B12) - 0.04(B13) - 15.8(B14) - 3.3(B15) - 2.01(B16) + 0.3(B17))}}$$

附錄一 LANDSAT MLR 法求出之迴歸公式(續)

A11 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(752.9 - 0.1(B1) + 6.6(B2) + 6.6(B3) - 12.6(B4) + 3.8(B5) - 3.3(B6) - 7.7(B7) + 8.1(B8) + 37.7(B9) + 2.8(B10) - 44.8(B11) - 37.8(B12) + 0.001(B13) - 6.7(B14) - 2.2(B15) - 0.2(B16) + 0.9(B17))}}$$

A12 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(431.8 + 17.8(B1) + 21.5(B2) - 2.0(B3) - 10.5(B4) + 4.7(B5) - 4.2(B6) + 0.01(B7) + 1.7(B8) + 28.2(B9) + 0.9(B10) - 29.5(B11) - 35.2(B12) - 0.04(B13) - 6.9(B14) - 3.5(B15) - 2.5(B16) + 0.5(B17))}}$$

A13 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2274.1 + 10.3(B1) + 19.8(B2) - 2.1(B3) - 11.1(B4) + 3.4(B5) - 1.3(B6) - 5.7(B7) + 6.8(B8) + 32.8(B9) + 3.3(B10) - 41.0(B11) - 62.4(B12) - 0.05(B13) - 8.4(B14) - 3.4(B15) - 2.8(B16) + 0.6(B17))}}$$

A14 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2107.7 + 7.7(B1) + 14.9(B2) - 11.8(B3) - 5.0(B4) + 2.7(B5) - 2.3(B6) - 10.1(B7) + 9.7(B8) + 27.0(B9) + 1.5(B10) - 33.8(B11) - 44.3(B12) - 0.04(B13) - 9.2(B14) - 2.1(B15) - 1.2(B16) + 0.3(B17))}}$$

A15 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2344.4 + 3.7(B1) + 16.2(B2) - 4.5(B3) - 7.6(B4) + 2.1(B5) + 0.6(B6) - 0.8(B7) + 1.4(B8) + 25.5(B9) + 3.7(B10) - 34.8(B11) - 66.4(B12) - 0.03(B13) - 12.9(B14) - 3.7(B15) - 1.8(B16) + 0.5(B17))}}$$

A17 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2408.3 + 4.5(B1) + 19.8(B2) - 9.7(B3) - 5.8(B4) + 1.9(B5) - 0.9(B6) - 12.4(B7) + 12.5(B8) + 21.9(B9) + 1.8(B10) - 29.6(B11) - 56.4(B12) - 0.05(B13) - 15.6(B14) - 2.0(B15) - 1.6(B16) + 0.3(B17))}}$$

A18 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2133.7 + 5.5(B1) + 16.1(B2) - 7.9(B3) - 9.0(B4) + 3.8(B5) - 1.0(B6) + 0.4(B7) + 1.8(B8) + 17.4(B9) + 3.1(B10) - 26.9(B11) - 55.3(B12) - 0.02(B13) - 10.2(B14) - 3.0(B15) - 1.7(B16) + 0.5(B17))}}$$

G2 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(277.38 + 2.8(B1) - 7.1(B2) + 8.8(B3) + 1.5(B4) - 3.6(B5) + 2.4(B6) - 1.5(B7) - 0.5(B8) + 33.1(B9) - 0.8(B10) - 31.0(B11) - 5.4(B12) + 0.1(B13) - 1.7(B14) + 0.2(B15) - 0.4(B16) - 0.004(B17))}}$$

G3 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(396.3 - 1.4(B1) + 3.0(B2) + 9.6(B3) + 0.3(B4) - 2.5(B5) + 0.6(B6) - 5.5(B7) + 3.6(B8) + 32.4(B9) + 0.6(B10) - 29.1(B11) - 7.5(B12) + 0.01(B13) - 3.2(B14) + 1.5(B15) + 0.6(B16) - 0.1(B17))}}$$

G4 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(791.6 - 1.4(B1) - 4.5(B2) + 8.9(B3) + 1.8(B4) - 0.9(B5) - 2.8(B6) - 0.3(B7) - 2.2(B8) + 28.8(B9) - 1.6(B10) - 24.1(B11) + 18.6(B12) + 0.04(B13) + 0.5(B14) - 0.6(B15) - 0.1(B16) - 0.1(B17))}}$$

附錄一 LANDSAT MLR 法求出之迴歸公式(續)

G5 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(242.1 + 5.4(B1) - 7.2(B2) - 0.8(B3) + 5.0(B4) - 5.6(B5) + 2.3(B6) - 4.2(B7) + 1.1(B8) + 22.6(B9) - 1.7(B10) - 20.8(B11) + 3.8(B12) + 0.01(B13) - 4.1(B14) - 0.5(B15) - 0.6(B16) - 0.1(B17))}}$$

G6 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(662.6 - 7.9(B1) - 3.1(B2) - 1.82(B3) + 3.8(B4) - 2.1(B5) + 0.3(B6) - 6.1(B7) + 3.8(B8) + 28.0(B9) + 1.3(B10) - 29.0(B11) + 0.6(B12) - 0.01(B13) - 0.2(B14) - 0.7(B15) + 0.7(B16) - 0.2(B17))}}$$

G7 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(413.1 - 5.1(B1) - 5.2(B2) - 2.2(B3) + 5.6(B4) - 4.8(B5) + 2.6(B6) - 9.3(B7) + 5.5(B8) + 46.6(B9) - 0.2(B10) - 45.8(B11) + 3.6(B12) + 0.02(B13) - 0.8(B14) - 0.7(B15) + 0.7(B16) - 0.1(B17))}}$$

G8 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(750.5 - 5.8(B1) - 7.6(B2) + 15.5(B3) - 5.0(B4) - 2.1(B5) + 1.0(B6) + 0.1(B7) - 1.6(B8) - 7.9(B9) - 0.6(B10) + 12.3(B11) + 19.0(B12) - 0.03(B13) + 3.2(B14) + 0.1(B15) + 1.7(B16) + 0.3(B17))}}$$

G9 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(10.3 - 0.5(B1) - 2.1(B2) + 4.7(B3) + 1.3(B4) - 2.8(B5) + 1.1(B6) - 3.4(B7) + 1.5(B8) + 22.3(B9) + 0.4(B10) - 20.9(B11) - 1.6(B12) + 0.007(B13) - 2.8(B14) + 1.0(B15) + 0.2(B16) - 0.1(B17))}}$$

G10 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(561.8 + 0.6(B1) - 5.3(B2) + 6.9(B3) + 1.2(B4) - 2.8(B5) + 0.8(B6) - 8.8(B7) + 6.8(B8) + 11.8(B9) - 0.1(B10) - 11.4(B11) - 8.6(B12) - 0.01(B13) + 0.2(B14) + 0.3(B15) - 0.7(B16) - 0.01(B17))}}$$

G11 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(552.4 - 3.5(B1) - 4.5(B2) - 0.1(B3) - 2.3(B4) - 0.3(B5) + 0.6(B6) - 4.3(B7) + 4.6(B8) + 44.4(B9) + 0.6(B10) - 46.0(B11) + 0.04(B12) - 0.006(B13) - 2.2(B14) - 0.4(B15) - 1.0(B16) + 0.1(B17))}}$$

附錄二 SPOT-5 MLR 法求出之迴歸公式

1. 大氣糾正後之 4 波段

F2 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(0.5680 + 0.4036(\text{SPOT}_{3151}) - 0.6428(\text{SPOT}_{3152}) + 0.1980(\text{SPOT}_{3153}) - 0.3603(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

F3 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(721.8117 + 108.4729(\text{SPOT}_{3151}) - 145.6618(\text{SPOT}_{3152}) - 27.5807(\text{SPOT}_{3153}) + 78.9634(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

F4 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(720.4553 + 107.5136(\text{SPOT}_{3151}) - 145.1250(\text{SPOT}_{3152}) - 27.5581(\text{SPOT}_{3153}) + 78.9935(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

F5 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(727.4411 + 108.2841(\text{SPOT}_{3151}) - 145.4157(\text{SPOT}_{3152}) - 27.5460(\text{SPOT}_{3153}) + 78.9914(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

F6 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(727.5007 + 107.6300(\text{SPOT}_{3151}) - 144.8698(\text{SPOT}_{3152}) - 27.5490(\text{SPOT}_{3153}) + 79.0270(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A2 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(14.5869 - 1.2528(\text{SPOT}_{3151}) + 2.1678(\text{SPOT}_{3152}) + 0.1762(\text{SPOT}_{3153}) - 0.9389(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A4 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(6.2445 - 1.2772(\text{SPOT}_{3151}) + 1.4640(\text{SPOT}_{3152}) - 0.0241(\text{SPOT}_{3153}) - 0.1201(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A6 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(0.3787 - 0.4065(\text{SPOT}_{3151}) + 0.7630(\text{SPOT}_{3152}) - 0.0109(\text{SPOT}_{3153}) - 0.0602(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

附錄二 SPOT-5 MLR 法求出之迴歸公式(續)

A7 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2.4697 + 0.5545(\text{SPOT}_{3151}) - 0.0745(\text{SPOT}_{3152}) + 0.0574(\text{SPOT}_{3153}) - 0.2856(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A11 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(12.4079 - 0.0243(\text{SPOT}_{3151}) + 0.1709(\text{SPOT}_{3152}) + 0.0764(\text{SPOT}_{3153}) + 0.0488(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A12 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(24.0843 + 0.5125(\text{SPOT}_{3151}) - 0.4739(\text{SPOT}_{3152}) - 0.0095(\text{SPOT}_{3153}) + 0.3451(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A13 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(1.4697 + 0.4145(\text{SPOT}_{3151}) + 0.0447(\text{SPOT}_{3152}) + 0.0215(\text{SPOT}_{3153}) - 0.1224(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A14 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2.1085 + 0.5281(\text{SPOT}_{3151}) - 0.5397(\text{SPOT}_{3152}) + 0.0172(\text{SPOT}_{3153}) - 0.0321(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A15 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(53.8496 + 3.9711(\text{SPOT}_{3151}) - 3.0679(\text{SPOT}_{3152}) - 0.1364(\text{SPOT}_{3153}) + 0.7114(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A17 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(53.8496 + 3.9711(\text{SPOT}_{3151}) - 3.0679(\text{SPOT}_{3152}) - 0.1364(\text{SPOT}_{3153}) + 0.7114(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

A18 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(9.7021 - 1.2961(\text{SPOT}_{3151}) + 2.2636(\text{SPOT}_{3152}) + 0.0971(\text{SPOT}_{3153}) - 0.6271(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

G2 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(19.3206 - 2.6667(\text{SPOT}_{3151}) + 2.7093(\text{SPOT}_{3152}) + 0.1846(\text{SPOT}_{3153}) - 0.6760(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

附錄二 SPOT-5 MLR 法求出之迴歸公式(續)

G3 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(11.5926 - 1.6569(\text{SPOT}_{3151}) + 1.6609(\text{SPOT}_{3152}) + 0.1706(\text{SPOT}_{3153}) - 0.4576(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

G4 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(8.1909 - 0.6440(\text{SPOT}_{3151}) + 0.5869(\text{SPOT}_{3152}) - 0.0106(\text{SPOT}_{3153}) - 0.0888(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

G5 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(14.2055 - 2.4811(\text{SPOT}_{3151}) + 2.0603(\text{SPOT}_{3152}) + 0.1111(\text{SPOT}_{3153}) - 0.3004(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

G6 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(7.8241 - 1.3375(\text{SPOT}_{3151}) + 1.3671(\text{SPOT}_{3152}) + 0.1041(\text{SPOT}_{3153}) - 0.2735(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

G7 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(503.9154 + 23.0504(\text{SPOT}_{3151}) - 17.7101(\text{SPOT}_{3152}) + 4.2143(\text{SPOT}_{3153}) - 2.8288(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

G8 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(3.0890 + 0.3491(\text{SPOT}_{3151}) - 0.2399(\text{SPOT}_{3152}) - 0.0061(\text{SPOT}_{3153}) - 0.0673(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

G9 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(9.3130 + 0.3301(\text{SPOT}_{3151}) - 0.3142(\text{SPOT}_{3152}) - 0.1270(\text{SPOT}_{3153}) + 0.0216(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

G10 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(6.4828 - 2.8515(\text{SPOT}_{3151}) + 2.7144(\text{SPOT}_{3152}) + 0.2695(\text{SPOT}_{3153}) - 0.4972(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

G11 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(18.6358 - 2.6879(\text{SPOT}_{3151}) + 2.7788(\text{SPOT}_{3152}) + 0.1949(\text{SPOT}_{3153}) - 0.7088(\text{SPOT}_{3154}))}}$$

附錄二 SPOT-5 MLR 法求出之迴歸公式(續)

2. 引入植生指標以及環境因子等波段後

F2 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2464.6 - 1.3(B1) - 0.2(B2) - 3.3(B3) + 4.9(B4) - 11.3(B5) + 13.5(B6) - 0.6(B7) - 8.0(B8) + 10.9(B9) + 12.1(B10) + 0.04(B11) + 9.0(B12) + 1.3(B13) - 0.02(B14) + 0.01(B15))}}$$

F3 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(3693.6 - 3.7(B1) + 9.7(B2) - 0.3(B3) - 4.2(B4) - 23.6(B5) + 21.5(B6) - 1.7(B7) - 17.4(B8) + 22.7(B9) + 22.4(B10) - 0.01(B11) + 7.6(B12) + 1.8(B13) + 1.0(B14) + 0.02(B15))}}$$

F4 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2533.7 - 10.3(B1) + 15.4(B2) - 1.2(B3) - 2.2(B4) - 3.3(B5) + 2.6(B6) - 16.8(B7) - 11.3(B8) + 29.7(B9) + 12.7(B10) - 0.02(B11) + 11.6(B12) + 1.5(B13) + 0.8(B14) + 0.1(B15))}}$$

F5 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2550.7 - 1.0(B1) - 4.7(B2) - 1.1(B3) + 1.0(B4) - 8.4(B5) + 8.7(B6) + 25.8(B7) - 11.5(B8) - 15.0(B9) + 16.4(B10) - 0.01(B11) + 9.8(B12) + 3.2(B13) + 3.7(B14) + 0.1(B15))}}$$

F6 對 F1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2492.2 - 4.3(B1) + 5.3(B2) - 1.5(B3) - 0.7(B4) - 16.8(B5) + 16.4(B6) - 10.4(B7) - 13.0(B8) + 23.8(B9) + 15.6(B10) - 0.01(B11) + 9.4(B12) + 1.7(B13) + 1.1(B14) + 0.04(B15))}}$$

A2 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(1366.4 - 22.0(B1) + 14.9(B2) - 0.3(B3) - 0.01(B4) - 12.8(B5) + 13.2(B6) + 7.8(B7) - 2.6(B8) - 1.7(B9) + 12.7(B10) + 0.03(B11) - 2.8(B12) + 1.7(B13) + 0.1(B14) + 0.1(B15))}}$$

A4 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(673.3 - 7.4(B1) + 3.4(B2) - 1.3(B3) + 3.2(B4) + 4.9(B5) - 2.7(B6) + 4.8(B7) + 1.4(B8) - 4.6(B9) + 3.6(B10) + 0.03(B11) + 1.8(B12) + 0.3(B13) + 0.3(B14) + 0.02(B15))}}$$

A6 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(231.4 - 3.4(B1) + 5.5(B2) + 0.8(B3) - 1.3(B4) - 1.8(B5) + 0.7(B6) - 10.6(B7) - 1.5(B8) + 9.7(B9) - 4.0(B10) + 0.02(B11) + 5.2(B12) + 1.9(B13) + 1.6(B14) - 0.004(B15))}}$$

A7 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(509.4 - 22.3(B1) + 18.8(B2) + 1.3(B3) - 1.4(B4) + 11.8(B5) - 10.6(B6) + 8.1(B7) + 3.2(B8) - 11.9(B9) - 2.3(B10) + 0.003(B11) - 1.8(B12) + 0.6(B13) - 2.1(B14) + 0.02(B15))}}$$

附錄二 SPOT-5 MLR 法求出之迴歸公式(續)

A11 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(132.1 - 29.1(B1) + 23.2(B2) + 0.5(B3) + 1.7(B4) + 13.8(B5) - 10.3(B6) + 27.2(B7) + 3.3(B8) - 32.0(B9) - 3.4(B10) - 0.02(B11) + 2.6(B12) + 0.7(B13) + 0.6(B14) + 0.01(B15))}}$$

A12 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(860.3 - 15.4(B1) + 6.2(B2) - 1.8(B3) + 4.2(B4) - 12.9(B5) + 16.0(B6) - 6.6(B7) - 2.1(B8) + 9.5(B9) + 9.5(B10) - 0.03(B11) + 4.6(B12) - 0.8(B13) - 0.2(B14) + 0.03(B15))}}$$

A13 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(34.7 - 13.4(B1) + 14.0(B2) + 1.2(B3) - 2.8(B4) + 11.8(B5) - 11.6(B6) - 0.4(B7) - 0.5(B8) + 0.9(B9) + 1.3(B10) - 0.02(B11) + 0.6(B12) - 1.0(B13) - 3.2(B14) - 0.01(B15))}}$$

A14 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(635.3 - 14.3(B1) + 14.2(B2) + 0.9(B3) - 0.03(B4) + 18.2(B5) - 16.7(B6) + 27.3(B7) + 3.67(B8) - 32.9(B9) - 7.1(B10) + 0.02(B11) + 4.6(B12) + 0.6(B13) - 1.5(B14) + 0.01(B15))}}$$

A15 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(787.4 - 10.5(B1) + 8.1(B2) + 1.4(B3) - 1.5(B4) + 14.1(B5) - 13.7(B6) + 16.5(B7) - 2.4(B8) - 14.1(B9) + 6.1(B10) + 0.003(B11) - 6.8(B12) - 1.5(B13) - 1.0(B14) + 0.02(B15))}}$$

A17 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(285.4 - 24.4(B1) + 24.4(B2) - 0.6(B3) - 0.2(B4) + 4.8(B5) - 2.3(B6) - 9.3(B7) - 1.3(B8) + 9.0(B9) + 0.7(B10) - 0.1(B11) - 0.2(B12) - 0.2(B13) + 0.9(B14) + 0.04(B15))}}$$

A18 對 A1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(708.1 - 7.2(B1) + 2.9(B2) - 0.6(B3) + 3.7(B4) + 26.1(B5) - 21.8(B6) + 18.4(B7) + 9.5(B8) - 28.1(B9) - 9.2(B10) + 0.1(B11) + 0.7(B12) + 0.6(B13) - 2.4(B14) + 0.01(B15))}}$$

G2 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(460.9 - 13.5(B1) + 21.0(B2) - 4.5(B3) + 8.5(B4) - 36.6(B5) + 39.6(B6) + 11.3(B7) + 5.0(B8) - 13.3(B9) - 8.5(B10) + 0.03(B11) - 0.4(B12) + 1.6(B13) + 1.0(B14) - 0.1(B15))}}$$

附錄二 SPOT-5 MLR 法求出之迴歸公式(續)

G3 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(1499.9 + 2.2(B1) + 5.8(B2) - 1.6(B3) + 1.7(B4) - 27.0(B5) + 26.8(B6) + 7.0(B7) + 8.5(B8) - 12.8(B9) - 8.7(B10) + 0.02(B11) + 6.5(B12) - 0.5(B13) + 0.02(B14) + 0.1(B15))}}$$

G4 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(989.4 - 12.0(B1) + 17.1(B2) - 1.7(B3) + 3.8(B4) - 7.6(B5) + 8.7(B6) + 7.2(B7) + 6.7(B8) - 12.9(B9) - 9.1(B10) + 0.004(B11) + 2.6(B12) + 0.1(B13) + 1.2(B14) + 0.01(B15))}}$$

G5 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2005.8 + 7.2(B1) + 11.9(B2) + 1.1(B3) - 4.8(B4) - 16.3(B5) + 13.0(B6) - 1.7(B7) + 5.7(B8) - 3.8(B9) - 15.3(B10) - 0.01(B11) - 3.6(B12) + 0.4(B13) + 0.8(B14) + 0.002(B15))}}$$

G6 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(28.5 - 7.57(B1) + 4.3(B2) - 3.0(B3) + 7.2(B4) - 13.9(B5) + 17.3(B6) + 17.9(B7) + 3.3(B8) - 19.8(B9) - 1.2(B10) + 0.02(B11) + 3.1(B12) + 1.5(B13) + 0.05(B14) - 0.02(B15))}}$$

G7 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2290.5 - 7.3(B1) + 10.3(B2) - 1.6(B3) + 3.9(B4) - 17.9(B5) + 19.1(B6) + 0.1(B7) + 10.0(B8) - 10.9(B9) - 14.5(B10) + 0.01(B11) + 4.4(B12) - 0.2(B13) + 0.2(B14) + 0.1(B15))}}$$

G8 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(1244.2 - 9.0(B1) + 13.1(B2) + 0.1(B3) - 1.3(B4) - 11.7(B5) + 10.9(B6) - 3.0(B7) + 3.9(B8) - 1.2(B9) - 6.3(B10) - 0.01(B11) + 0.7(B12) - 0.1(B13) + 0.2(B14) + 0.05(B15))}}$$

G9 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2050.7 - 7.7(B1) + 17.1(B2) - 0.01(B3) - 0.1(B4) - 2.2(B5) + 2.0(B6) + 11.8(B7) + 10.0(B8) - 21.8(B9) - 15.6(B10) + 0.002(B11) + 4.6(B12) + 0.3(B13) + 0.6(B14) + 0.1(B15))}}$$

附錄二 SPOT-5 MLR 法求出之迴歸公式(續)

G10 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2121.4 - 6.6(B1) + 14.1(B2) - 1.5(B3) + 2.2(B4) - 13.1(B5) + 14.5(B6) - 5.3(B7) + 9.3(B8) - 5.1(B9) - 15.2(B10) - 0.03(B11) - 0.2(B12) + 0.05(B13) + 1.6(B14) + 0.1(B15))}}$$

G11 對 G1 的機率為

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(2037.7 - 6.8(B1) + 7.9(B2) - 2.4(B3) + 4.7(B4) - 18.1(B5) + 20.4(B6) + 1.6(B7) + 6.6(B8) - 11.3(B9) - 12.9(B10) + 0.01(B11) + 4.7(B12) - 0.8(B13) - 0.5(B14) + 0.1(B15))}}$$