

國立政治大學地政學系 碩士論文
私立中國地政研究所

論文題目：

應用衛星影像於宜蘭平原沿海地區
之監測

**Monitoring I-LAN Coastal Zone Using
Multi-Temporal Satellite Images**

研 究 生：徐郁晴

指 導 教 授：詹進發

中 華 民 國 九 十 九 年 七 月

摘要

海岸為海洋與陸地交界之處，風、浪與潮流等自然營力長期於此不斷的侵蝕與堆積交互演替。近年來，隨著人口快速增加，人類對於海岸地區土地利用與開發的需求急遽擴張，使得影響海岸地形的變因日益複雜且變化迅速。宜蘭特殊的沙丘性海岸因抗蝕性弱，易受到外力影響而改變地形，海岸後方的沿海平原為人口與產業集中的地區，因此自然營力與人為因素對宜蘭平原海岸地形與環境的影響，備受關注。因衛星影像具多時期與大尺度的空間特性，可提供土地覆蓋變遷分析之有效資訊，故本文使用 2003 年、2006 年與 2009 年宜蘭平原沿海地區 SPOT 5 衛星影像，利用階層式分類程序將研究試區分為水體、建成與交通用地、沙地、農地與林地等五種土地覆蓋類別，透過土地覆蓋分類之結果，比較三個時期土地覆蓋型面積的變化；建立馬可夫轉移矩陣，了解各土地覆蓋型轉移的情況；其次，量化地景指標以了解整體土地覆蓋型區塊在空間結構上的情況，並利用 Shannon 多樣性指標 t 檢定測驗兩時期間整體地景是否有明顯的變遷。進一步，利用二項式 Logit 迴歸分析 2003 至 2006 年與 2006 年至 2009 年間土地覆蓋型的變化與沙丘海岸變遷的關係以及參考前人宜蘭海岸變遷之研究，選擇可能影響此區海岸變遷的自然與人為環境因子，建立二項式 Logit 迴歸模式，探討各項因子對於沙丘性海岸的影響，並利用海岸沙丘空間分佈預測機率圖，最後以 2006 年與 2009 年沙地主題圖作為驗證資料，探討模式的可行性。本研究透過不同的空間計量方法，了解本區土地覆蓋型的變化，期本研究成果對於此區海岸保護與管理政策制定者有一參考的依據。

Abstract

Coastal zone is at the junction of ocean and land. The area constantly experiences interchanging succession of erosion and accumulation due to natural forces such as wind, wave, and tidal currents. In recent years, associated with fast population increase, the demand of lands expanded rapidly such that the effects on topography of coastal zone became more complex and changed quickly. Coastal sand dunes are dynamic and fragile terrain often regarded as environmentally sensitive areas. Sand dunes are vulnerable to erosion by natural process and human activity. The objective of this research was to examine the effects of environmental factors and land-use changes on coastal sand dunes in I-Lan County.

Satellite imageries are characterized by multi-temporal and large-scale, therefore they are ideal for providing necessary information to facilitate analysis of regional land-cover changes. In this research, three SPOT 5 images acquired in 2003, 2006 and 2009 were used to analyze land-cover changes in I-Lan coastal zone. Firstly, a hierarchical classification procedure was applied to classify the image data to five land-cover types and the land-cover changes were compared. Secondly, based on the classification results, a Markov transitional probability matrix was constructed to understand the transition among different land-cover types, and the Fragstats software was used to quantify the landscape structure of three different periods. By analyzing the spatial distributions of land-cover types in different time periods, we were able to examine to the temporal and spatial changes of land-cover in the I-Lan coastal zone. In addition, a t-test based on Shannon diversity index was used to evaluate the changes of the whole landscape in the study area. Thirdly, by selecting possible natural and man-made factors that are likely to affect coastal environment based on various prior studies, the mathematical models such as

Markov chain and binomial logit regression analysis were applied to predict the future overall landscape structure and to simulate the spatial distribution of the sandy coastal zone. Thematic maps derived from satellite images obtained in 2006 and 2009 were used to verify and assess the feasibility of the models.

This study integrated several spatial statistical methods to understand the patterns of land-cover changes in the study area. It is expected that the results of this study may offer a valuable reference for the policy-makers of coastal protection and management.



目錄

第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 沙丘性海岸變遷之研究.....	3
一、海岸沙丘地形研究.....	3
二、海岸變遷之研究.....	4
第三節 土地利用/覆蓋變遷之研究.....	7
第四節 研究目的與流程.....	14
一、研究目的.....	14
二、研究流程與內容.....	14
第二章 研究範圍與材料.....	17
第一節 研究區範圍與概述.....	17
一、研究區範圍.....	17
二、研究區概述.....	19
第二節 研究材料.....	33
一、衛星影像.....	33
二、95 年度第二次國土利用調查資料.....	35
三、宜蘭縣之道路與河流圖層.....	38
四、數值地形模型.....	38
五、氣象資料.....	38
第三章 相關理論與研究方法.....	41
第一節 衛星影像分類.....	42
第二節 地景生態學與地景結構的量化.....	44
一、地景生態學之理論與應用.....	44
二、地景結構的量化.....	47
第三節 馬可夫鏈模式.....	51
一、馬可夫鏈模式之發展與應用.....	52
二、馬可夫鏈模式使用上之限制.....	53
三、馬可夫鏈模式之數學表示.....	54
四、馬可夫特性之檢定.....	56
第四節 氣象資料之處理—一般克利金法.....	58
一、氣象資料的預處理.....	60
二、地理統計原理.....	62
三、一般克利金推估法.....	67
第五節 地景變遷之空間模式分析.....	69
一、Logit 迴歸模式之原理與應用.....	69

二、探討土地覆蓋與海岸變遷之關係.....	74
三、建立沙丘海岸與環境因子空間變遷機率模式.....	76
第四章 研究結果.....	83
第一節 衛星影像分類.....	83
第二節 地景變遷分析.....	86
一、地景面積變遷分析.....	86
二、地景結構分析.....	100
第三節 地景變遷預測模式的建立.....	105
一、馬可夫特性之驗證.....	105
二、模式之建立與檢核.....	105
第四節 地景變遷之空間模式分析與建立.....	108
一、土地覆蓋型變化與海岸變遷關係之 Logit 迴歸分析..	108
二、沙丘海岸之 Logit 空間分佈機率模式.....	110
第五章 討論.....	117
第一節 衛星影像分類.....	117
第二節 地景變遷分析.....	118
一、地景面積變遷分析.....	118
二、地景結構分析.....	118
三、土地覆蓋型變化與海岸變遷之關係.....	119
第三節 地景變遷模式建立.....	120
第六章 結論與建議.....	121
第一節 結論.....	121
第二節 建議.....	124
參考文獻.....	125

圖目錄

圖 1-1	海岸沙丘形成過程示意圖.....	4
圖 1-2	地景變遷研究之時間尺度.....	9
圖 1-3	本研究之流程圖.....	16
圖 2-1	「蘭陽海岸保護區」與本研究範圍圖.....	19
圖 2-2	竹安溪口歷年之情形.....	20
圖 2-3	蘭陽溪口歷年之情形.....	21
圖 2-4	海岸地帶分類示意圖.....	22
圖 2-5	羅東站 2006 年之月平均降水量.....	24
圖 2-6	2006 年蘭陽大橋測站逕流量統計.....	25
圖 2-7	2006 年蘭陽大橋測站輸砂量統計.....	25
圖 2-8	突堤效應示意圖.....	30
圖 2-9	本研究區三個時期之 SPOT 5 衛星影像.....	35
圖 2-10	氣象測站之分佈圖.....	39
圖 3-1	本研究影像分類流程圖.....	42
圖 3-2	地景生態空間單元層級關係.....	45
圖 2-3	數學上與 GIS 中對於角度表示之示意圖.....	60
圖 3-4	典型半變異元圖.....	65
圖 3-5	Logit 迴歸曲線圖.....	71
圖 3-6	研究區分割示意圖.....	75
圖 3-7	海拔高圖.....	76
圖 3-8	坡度圖.....	76
圖 3-9	春季風速分佈圖.....	77
圖 3-10	春季風向分佈圖.....	77
圖 3-11	夏季風速分佈圖.....	77
圖 3-12	夏季風向分佈圖.....	77
圖 3-13	秋季風速分佈圖.....	78
圖 3-14	秋季風向分佈圖.....	78
圖 3-15	冬季風速分佈圖.....	78
圖 3-16	冬季風向分佈圖.....	78
圖 3-17	平均降水量分佈圖.....	79
圖 3-18	堤防距離圖.....	79
圖 3-19	道路距離圖.....	79
圖 3-20	河流距離圖.....	79
圖 3-21	海岸保安林距離圖.....	80
圖 4-1	三時期影像分類成果.....	85
圖 4-2	三時期土地覆蓋型面積變化圖.....	87

圖 4-3	三時期水體空間分佈情形	88
圖 4-4	三時期建成與交通用地空間分佈圖	89
圖 4-5	三時期沙地空間分佈情形	90
圖 4-6	三時期農地空間分佈情形	91
圖 4-7	三時期林地空間分佈情形	92
圖 4-8	2003 年蘭陽溪出海口	93
圖 4-9	2006 年蘭陽溪出海口	93
圖 4-10	2009 年蘭陽溪出海口	94
圖 4-11	兩時段水體轉移情形	96
圖 4-12	兩時段建成與交通用地轉移情形	97
圖 4-13	兩時段沙地轉移情形	98
圖 4-14	兩時段農地轉移情形	99
圖 4-15	兩時段林地轉移情形	100
圖 4-16	三時期區塊數量變化情形	102
圖 4-17	三時期地景形狀指數變化情形	102
圖 4-18	三時期加權平均形狀指標變化情形	103
圖 4-19	三時期形狀變異數	103
圖 4-20	三時期之 Shannon 多樣性指標	104
圖 4-21	土地覆蓋型變化與預測結果之比較	106
圖 4-22	沙丘海岸預測機率圖	114
圖 4-23	預測機率與 2006 年沙地套疊結果	115
圖 4-24	2009 年沙地與預測機率圖套疊結果	116

表目錄

表 1-1	宜蘭地區土地利用變遷研究相關文獻.....	12
表 2-1	宜蘭地區 1984 年至 2007 年下陷.....	28
表 2-2	宜蘭海岸變遷可能因子以及本研究模式建立所選之解釋因子.....	32
表 2-3	本研究使用之衛星影像屬性說明.....	33
表 2-4	國土利用調查之土地利用重新分類表.....	37
表 3-1	土地覆蓋型變化對於海岸變遷分析之變項的度量與編碼方式.....	75
表 3-2	沙丘海岸變遷空間分析之變項度量與編碼方式.....	80
表 4-1	2006 年檢核區之分類混淆表.....	84
表 4-2	三時期土地覆蓋面積百分比.....	86
表 4-3	2003 年至 2006 年各土地覆蓋型轉移機率矩陣.....	94
表 4-4	2006 年至 2009 年土地覆蓋型轉移機率矩陣.....	95
表 4-5	三時期之地景結構量化之結果.....	101
表 4-6	本研究區兩時期 Shannon 多樣性指標 t 檢定結果.....	104
表 4-7	本研究區地景變遷馬可夫特性之卡方檢定.....	105
表 4-8	2009 年馬可夫鏈模式驗證結果.....	106
表 4-9	土地覆蓋變化與海岸變遷二項式 Logit 迴歸分析(2003-2006).....	108
表 4-10	模式整體適合度檢定(2003-2006).....	109
表 4-11	土地覆蓋變化與海岸變遷二項式 Logit 迴歸分析(2006-2009) ...	109
表 4-12	模式整體適合度檢定(2006-2009).....	110
表 4-13	2003~006 年沙丘性海岸變遷之二項式 Logit 迴歸分析結果.....	111
表 4-14	本區風速風向推估之結果.....	112
表 4-15	模式整體適合度檢定.....	113
表 4-16	2006 年沙地預測驗證結果.....	115
表 4-17	2009 年沙地與預測機率模式之確認結果.....	116

第一章 緒論

第一節 研究動機

海洋是維持地球生態體系完整和必要的組成部分，同時也支持了濱海陸域與人類文明存續的發展，海岸地區兼具海陸生態體系特性，近岸海域由於陽光充足、營養豐富，面積雖僅占海洋的百分之十，卻是海洋生物種類最繁雜及生物力最高的地區；水陸交接的海岸地區更孕育了地球上百分之八十的動植物，除了具有高經濟生產力外，並有生態制衡、景觀休憩、學術研究及國土保安等功能(張長義等，1991；邱文彥，2002)。聯合國環境與發展委員會(United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)在1992年研擬的「二十一世紀議程」(Agenda 21)中，將海洋環境與海岸地區視為永續發展最珍貴的資產，尤以海岸地區生產力最高、生態環境最為敏感，並特別關注於海洋與海岸地區的管理以及其生物資源的保護、合理的利用與開發，期能促進海岸地區之永續發展。隨著人口快速增加，海岸地區(包含南極洲)僅占全球陸地面積的五分之一，卻容納了全球近一半的人口(Kremer et al, 2005)，人與環境系統間的關係與交互作用更加頻繁，對環境所造成的衝擊以及產生的環境問題，值得加以關注。

台灣本島位處亞洲大陸棚東緣，四面環海，本島海岸線長達約1316公里(營建署，2008)，由於地勢陡峭、雨量充沛、輸砂顯著，加上颱風、季風以及海陸風盛行，海岸沙丘(Coastal Dune)地形發達(張政亮，1995)。隨著台灣經濟發展，海岸地區各種土地利用與海岸港口相關工程設施的急遽擴張，使得影響海岸地形變遷因子日益複雜且變化快速。本論文將研究焦點放在台灣特殊的沙丘性海岸地區，期透過觀察不同時期土地利用與土地覆蓋的變化，藉此提高海岸地區環境的認識，並分析土地覆蓋型態對於海岸變遷的影響力，瞭解土地之利用，是否得到合理之開發，透過充分的

瞭解此區的變化，期能提供海岸地區管理者制定決策之依據。



第二節 沙丘性海岸變遷之研究

一、海岸沙丘地形研究

海岸沙丘為地表的一種特殊景觀，多發達於大河河口與和緩彎曲的海岸，常見於高潮線上的後濱灘地，主要由於陸地、海洋與大氣共同交互作用而成。一般而言，海岸沙丘的形成需具備四個基本要素：充分的沙源供給、須具有足以攜帶沙力的營力、有安定且緩坡的濱面以及合適且足夠的堆積空間，其中以沙源供給與攜帶沙力的營力最為重要(張政亮，1995)。

沙丘沙源主要來自於海濱沉積物，其中以河流所挾帶的大量泥沙為最大供應者，其餘為一些海洋生物遺骸的碎屑以及部分海浪淘蝕海岸與海底所得的岩屑。海濱沉積物透過波浪、潮汐等水中營力形成漂沙並將其往海濱搬運，堆積成灘沙，再藉由空氣流動往內陸堆積，形成海岸沙丘，但各地沙丘分佈與形態會因各地環境及自然營力的不同而各有差異。除了當地灘面、近岸等地形條件外，其他包含沙丘的形態、風、植被的覆蓋以及人為開發利用(如:道路、建物等)和相關保護海岸沙丘之措施及政策的實行，對於沙丘地形皆有不同程度的影響(Davies et al., 1995; Sherman, 1995; Lin, 1996; Williams et al., 2001)。圖 1-1 為海岸沙丘形成及變化過程示意圖。

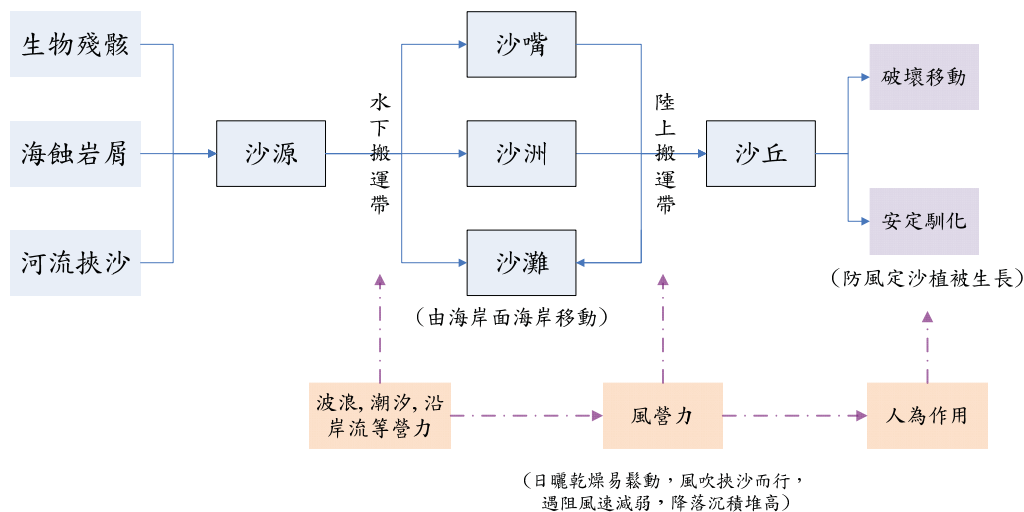


圖 1-1 海岸沙丘形成過程示意圖(重繪自張政亮，1995)

台灣的海岸沙丘地區以往沒有明確的定義劃分，主要許多沙丘轉而被人為開發和利用，導致沙丘定義與範圍更加模糊，目前僅有水利局在 1981 年之廣泛定義，即凡在海岸地區，具有沙性土壤者均屬之。由於沙丘具有動態、敏感及脆弱之特性，為一環境敏感地區(environmentally sensitive area)(張政亮，1995；Hansom，2001)，在自然營力與人為開發加速影響下，易使海岸地貌快速變更。台灣地區的沙丘性海岸主要分佈於西部沿海海岸、宜蘭平原海岸地區與花東海岸，其中以宜蘭平原海岸地區最為發達(許民陽，2004)。基於此，本研究以宜蘭平原海岸地區為例。

二、海岸變遷之研究

由於海岸地區自然環境之動態性(Dynamic)及地貌持續不斷變化特性，人為開發更加速了海岸地區地景及地貌的變化速率，為了有效的管理及制定海岸地區之規劃與政策，則需預先了解海岸變遷的情形。過去，國外許多海岸變遷監測之研究，在研究長期變遷時，多使用歷年大尺度地圖進行比對，此外航空照片涵蓋時間序列、大範圍的忠實記錄精確且豐富的資訊亦常作為研究材料(Baily and Nowell, 1996; Levin and Ben-Dor, 2004)，如 Kutiel 等人(2004)數化 1965 年與 1999 年兩年之航空照片，利用地理資訊系統技術計算南以色列海岸沙丘(Southern Israeli Coastal Sand Dunes)植

被分佈與擴散的速率，並以此趨勢預測未來沙丘地形與植被覆蓋的情形。其他還有 Morton 等人(2003)利用 GPS 斷面測量，獲得海岸的三維資訊，可掌握短期海岸變遷的趨勢等方式。

近年來，隨著遙感探測技術的發展，衛星影像分類已廣泛被應用在土地利用調查上，相較於傳統地面調查方法，遙測技術具有即時取得、低人力、低時間成本等優點，目前已成為大尺度之監測及分析變遷之主要材料。如：Chen 等人(2005)整合混合式影像分類的程序與地理資訊系統技術，分析三個時期海岸變遷及對於其自然環境的影響；Xie 等人(2010)利用遙測與地理資訊系統的技術，使用 1986 年與 2006 年之 Landsat 影像進行非監督式影像分類，觀察兩時期之天津市海岸濕地變遷情況，並結合問卷調查與地面調查結果，探討自然因子與人為因素對於地下水資源及濕地自然保育的影響。國內相關研究如：馮景璋(2007)利用兩時期 1994 年與 2002 年之 Landsat TM 及 ETM+ 影像，探討淡水河口土地覆蓋變遷情形，劉其輝(2005)利用四個年度之 SPOT 衛星影像，進行監督式影像分類，運用地理資訊系統並搭配人口資料與都市計畫相關圖資，瞭解桃園縣都市發展的情形。

關於宜蘭海岸變遷之研究，常用的研究方法亦包括歷年大尺度的地圖比對、野外實測以及利用參數進行數值模擬。例如，郭金棟(1990)對比宜蘭 1904、1919、1958、1987 四年之地形圖；張政亮(1992)對蘭陽平原海岸各灘面寬度實測並與 1979 年五萬分之一的地形圖比對，發現各段海岸線均有不同程度的後退現象；張石角(1993)指出宜蘭海岸的頭城段與澳仔角為侵蝕嚴重；同年，游慶豐(1993)比較 1919 年與 1987 年的宜蘭縣地形圖，將此區海岸分為三區，除了蘭陽溪口出現堆積現象外，其餘區段多呈現侵蝕現象。另外，蔡建立(1994)利用風、波浪、洋流和潮汐因子，對海岸變遷作數值模擬之研究以及許鵬(1995)利用宜蘭海岸實測之海灘斷面資料，分析海岸侵蝕淤積之分佈情形與漂沙特性，進而探討造成海岸侵蝕的原因，結果顯示烏石港南堤與蘭陽溪北側均有侵蝕現象；其中烏石港南堤之侵蝕

為北防波堤的突堤效應，而蘭陽溪口則與溪流輸砂量減少相關。

許民陽、張政亮(2002)分別利用歷年來地形圖與航照圖套疊比對，判釋數十年海岸變遷情形，以及野外實測瞭解短時間(1999~2000年)的海岸變化情形，結果顯示此區海岸仍以侵蝕現象為主。鍾鴻文(2003)蒐集並分析宜蘭附近海域之季風、波浪、近岸流場、潮汐及漂沙基本資料，以及利用1997~2000年間宜蘭海域海灘斷面實測資料，配合氣象、河川水文資料及沿海海岸保護結構物之興建資料，分析判斷此區海灘侵淤情形，結果顯示，宜蘭海岸於1995~2000年期間興建的拋石海堤與突堤，已改善海岸侵蝕的情況，大部分於突堤群內側形成淤積的現象。陳癸月(2003)將歷年內政部經建版地圖數化，套疊分析宜蘭平原海岸變遷的情況，觀察蘭陽平原海岸長期變化的情形，並於2002、2003年野外實察與斷面測量結果發現，突堤對局部地區有固沙的功效，但在沿岸流下游處會產生「突堤效應」，發生侵蝕的現象，對海岸線之形狀改變甚大。

根據上述蘭陽平原海岸變遷相關文獻之整理，發現前人較少利用衛星影像，並以影像分類方法作為海岸變遷分析之研究材料，故本研究嘗試使用衛星影像分類技術獲取此區多時期之蘭陽平原沙丘海岸及土地利用/覆蓋型之資訊，供後續量化及分析此區變遷情形。

第三節 土地利用/覆蓋變遷之研究

土地利用是指人類有目的地開發土地資源的一切活動，例如：農業、工業用地與居住用地等；土地覆蓋為因自然形成或人為引起在地表上呈現覆蓋的情況，即與前述有關之各類土地利用的物質現況，包括各類農作物、房屋、水體及森林等等。土地覆蓋的變遷主要來自於土地利用的改變，地表覆蓋的變遷將影響到區域或全球的環境變遷，亦導致生態系統的改變，進而影響著自然環境以及居住於其中的人類，使得社會系統產生反映，構成一個動態的循環。因此，土地利用與土地覆蓋變遷(Land-Use and Land-Cover Change, LUCC)研究是一個跨領域的研究，主要為瞭解影響土地利用方式的作用因子，以及土地利用與地表覆蓋動態演變過程的時空變異性，藉以強化土地利用與永續發展之間的鏈結，並嘗試建構模擬土地利用與覆蓋變遷的區域性及全球性尺度模式，以瞭解未來土地利用變遷與地表覆蓋對於生物環境及氣候的影響(Turner II et al., 1995; Lambin et al., 1999)。

然而在從事任何研究時，研究之尺度(Scale)均先加以界定明確，所謂尺度，可由空間與時間兩個面向來討論，就空間面向而言，尺度即觀察研究空間分辨力的等級。例如以地景變遷研究而言，研究區域之變化或植被群落之變化即是兩種不同的空間尺度，區域變化屬大尺度，相對而言植被群落之變化屬小尺度；就時間面向而言，尺度即研究所橫跨的時間範圍。例如，在進行林木發芽試驗時，自播種至種子發芽間可能僅需數月、至多數年之時間即可獲得結果，但在進行長期森林生態監測研究時，由於天然植群的變化速度緩慢，故必須以數十或數百年之時間尺度來觀察其變化，才可發現植群在時間上的動態特質。因此，在進行生態研究時，如從不同的尺度觀察生態系，所得之結果亦往往有所不同，故尺度的掌握及設定，是影響研究結果之關鍵因素(吳治達，2004)。

Marcucci(2000)將各種干擾因子與地景(Landscape)變遷研究時間尺度間之關係歸類如下圖 1-2。由圖中可知，地貌變遷、氣候變遷及區塊的發育等自然力所產生之影響效應，則需較長的觀察時間才能發現其變化趨勢，甚至需整合數百年之歷史資料才能進行完整通盤的解釋。以生物之生態體系的角度而言，因生物具重要之生態意義，故在地景的表現上，區塊發育及型態的改變亦包含長時期生物演化與自然遷移，以及數十年之人類干預；造成地景變遷的干擾屬於較難被預測的影響地景變遷因子，因其發生屬於自然隨機發生事件，如火山運動以及氣候慣性所造成的自然災害，如火災、水災等等。至於區域中土地利用型之變化，主要是起因於人類對土地進行開發利用，並為獲取利益而從事各種經濟活動行為所導致，因此可將其歸類於人為發展過程中之殖民開墾、交通運輸或經濟活動的類別內，此類研究資料之時間尺度約為數年至數十年左右，與需要長時間觀察、研究的地貌變遷比較之下，相對而言，人為利用與開發造成之土地利用變遷研究在資料取得及研究進行上均具有較高之可行性。

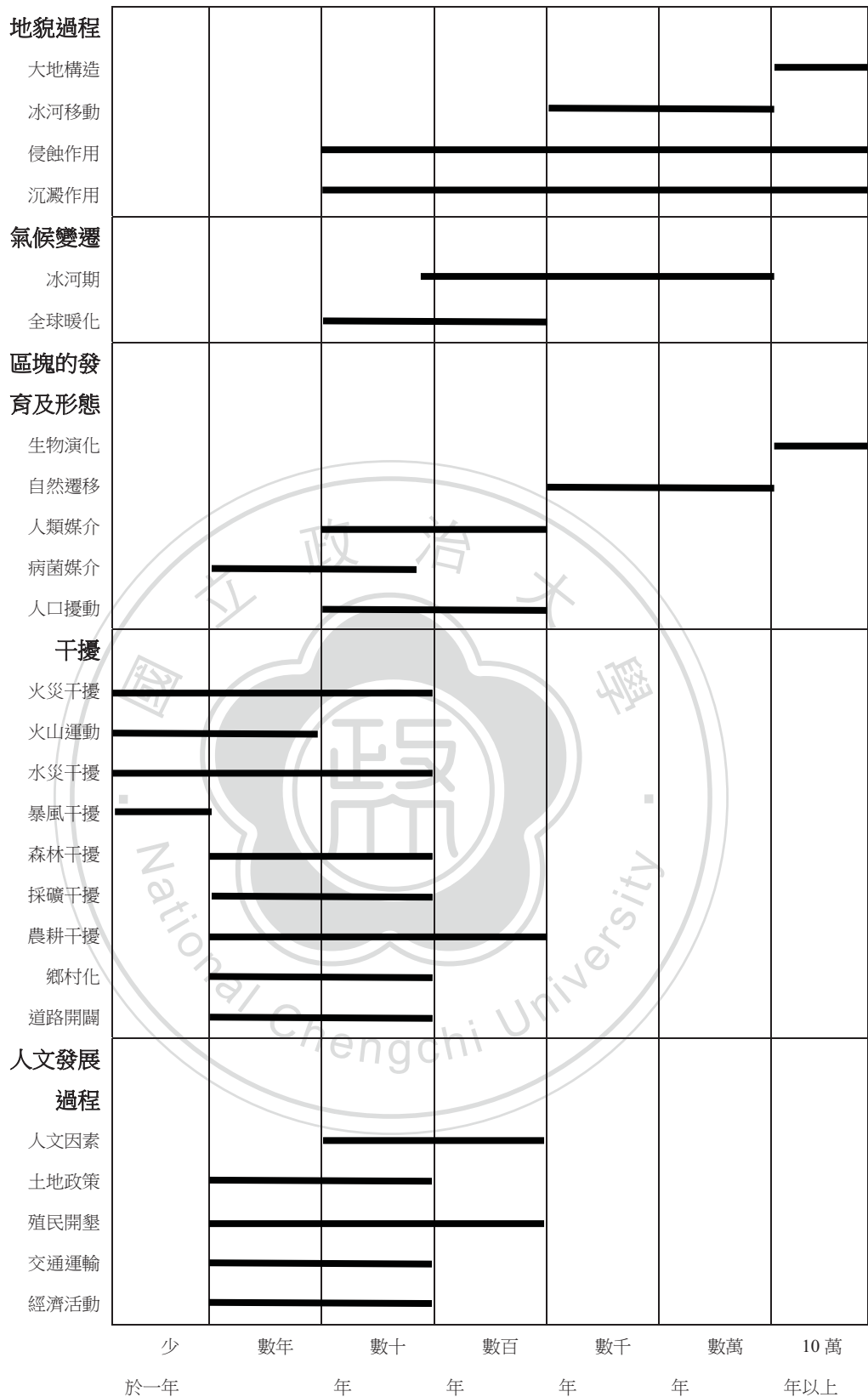


圖 1-2 地景變遷研究之時間尺度(Marcucci, 2000)

研究土地利用變遷的機制，首先須瞭解土地利用的情況與變遷之程度。過去礙於計算工具的限制，土地利用變遷型態的度量方法多以定性描

述的方式，或不同時期土地利用型之絕對面積量或面積百分比改變量作為土地利用變遷的空間證據(Boerner et al.,1996; 丁志堅，1997)。而單純以此方法則無法周延及全面的描述土地利用變遷的機制，故須加入其他計量的方法。近年來，地理資訊系統技術的成熟與進步，能夠有效的建立數值化土地利用資料庫，且提供了良好的空間分析的工具，然而加入空間計量分析方法的加入對於土地利用變遷之研究更具精確及全面性。

空間分析計量的方法所涵蓋之範圍相當廣泛，Wise and Haining(1991)將其總結歸納為三大類：一、空間統計分析(Statistical Spatial Analysis)，二、數學模擬(Mathematical Modeling)，三、地圖分析(Map Analysis)。空間統計分析乃藉由統計方法應用於空間資料上，來描述資料的空間特性，而土地利用面積改變量的度量可歸為此類；數學模擬的方法係藉由影響某一研究對象的各種因素，建立數學推估模式，進而了解空間資料變化狀況及其未來可能的狀況；而地圖分析的方法，Unwin(1981)認為包含土地利用資料在空間上呈現之幾何型態、元素的結構與元素間的相互關聯的度量。而土地利用資料本身即屬一空間資料，因此，應用地理資訊系統的空間分析及計算、展示的功能，且運用上述三大類空間分析的計量研究方式於土地利用變遷之研究，將可提供更多有關於土地利用變遷的資訊(丁志堅，1997)，尤其在 90 年代以後之土地利用變遷研究，均致力土地利用模式的發展，特別對於空間明確(Spatially Explicit)土地利用模式的建構更是不遺餘力 (丁志堅，2002)。

在空間統計分析方面，由於遙測與地理資訊技術的進步與成熟，解決了大尺度空間分析的問題，以地景生態學(Landscape Ecology)理論為基礎，發展出一系列描述地景空間結構型態的指標，以量化的方式分析土地利用坵塊(Land Parcel)在不同時間上空間結構之變化程度(丁志堅，1997)，相較於比較不同時期土地利用型面積變化的情形，利用地景結構指標測定各土地利用型的大小、形狀、分佈及類別等空間資訊，能夠更進一步表現

不同土地利用型之空間異質性及其動態之變化，其中 Shannon 多樣性指標因較具資訊理論(Information Theory)，故相關研究常應用 Shannon 多樣性指標搭配 t 檢定法，以測驗不同時期地景變遷的程度是否有差異(吳治達，2004)。因此，利用地理資訊系統技術量化與計算地景結構指標，已成為當前地景空間結構量化的主要方法。

以往土地利用變遷之研究較多以數學模式進行分析，根據變遷的特性，通常可分為土地利用變遷模擬預測與變遷之空間分析兩個面向，在土地利用變遷模擬預測方面，主要為研究不同土地利用類型之面積隨著時間增加所產生的改變，根據過去變化情形建構模式，預測未來各類型地景要素可能的面積，以複迴歸統計分析模式(Multiple Regression Model)及馬可夫鏈模式(Markov Chain Model)等應用最為普遍(Baker,1989; 鄭祈全等，2001);而土地利用變遷的空間分析是藉由空間關係模式進行推演與數理演算，著重於變遷空間特性的探討(Baker，1989)，常用 Probit 或二項式 Logit 迴歸模式，其原理類似迴歸模式，可用來分析空間特性或環境因子對土地利用變遷影響之程度，且可進一步計算與預測不同地點的變遷機率，應用於地景生態學上，以研究地景的空間格局、異質性以及結構與功能的關係，並研究生態系統於不同時空所隱含的意義(鄭祈全等，2001;吳治達，2004)。

回顧過去關於宜蘭地區土地利用變遷之研究(整理至表 1-1)，主要以數化之土地利用型資料為分析材料，多探討單一種土地利用型的變遷，如養殖漁業或海岸防風林，以文獻回顧或問卷調查的方式蒐集可能造成變遷的自然環境、人文背景與社會政策等因子並加以量化，進而建立單一土地利用變遷關係模式，進行空間分析，較少進行土地利用空間分佈模擬預測之研究。

本研究透過衛星影像分類方法獲得不同年之蘭陽平原海岸地區之土地覆蓋類型之資訊，並應用地理資訊系統之技術，除了運用面積改變量描述不同時期之蘭陽平原海岸地區整體之土地覆蓋型變遷的情形之外，量化地

景指標度量其土地利用型在空間結構之型態，並利用 Shannon 多樣性指標 t 檢定法進行不同時期變遷程度的檢測。進一步，透過文獻回顧的方式，蒐集及量化影響沙丘海岸的自然環境因子及人為環境因子，建立蘭陽平原沙丘性海岸變遷之 Logit 解釋模式，分析其沙丘海岸空間分佈的特性，期整合不同之研究方法對於此區整體地景於不同時期之變化與造成沙丘性海岸變遷之空間環境有更深一層之了解。

表 1-1 宜蘭地區土地利用變遷研究相關文獻

篇名	作者	研究材料	內容說明
宜蘭地區土地利用變遷之研究	林志明 (1998)	五萬分一地形圖 數化土地利用型。	由文獻回顧分析早期土地利用類型與自然、人文背景，並利用迴歸分析等統計方式瞭解變遷程度及建立關係模式。
蘭陽平原養殖土地利用變遷分析	蔡博文、 張長義、 張康聰 (2001)	農航所農業土地利用資料及內政部國土利用調查資料。	利用探索式空間分析方式度量養殖土地利用集中的區域，再藉由文獻與實地訪查瞭解變遷的機制，並以邏輯迴歸分析建立模式(Logistic Regression Model)。
以土地利用距離變數推測宜蘭海岸防風林的變遷	徐美玲 (2001)	數化之土地利用資料	設計一變數描述兩時期各土地利用在林地邊緣不同距離的出現機率，進行區別分析，得之判別函數，利用判別分析(Discriminant Analysis)推估林地的變化。

<p>蘭陽平原土地利用與海岸變遷關係之研究</p>	<p>陳癸月 (2003)</p>	<p>數化內政部經建版二萬五千分之一與五萬分之一地圖</p>	<p>分為五種土地利用型包含旱地、水田、魚塭、聚落與林地，建立土地利用與海岸變遷的羅吉斯(Logistic)迴歸模型。結果顯示，距海岸 1~2 公里內，呈現魚塭面積越大，海岸侵蝕越明顯的顯著關係；距海岸 2~3 公里內，聚落面積越大，侵蝕越明顯。</p>
<p>養殖土地利用變遷預測模式之建立-個體施為取徑</p>	<p>謝啟賢、 蔡博文、 張康聰 (2007)</p>	<p>問卷、土地利用調查資料與福衛二號影像</p>	<p>從養殖土地決策者角度出發，分自然環境、社會經濟、個體決策與區位條件四大面向，整合空間與問卷調查資料，以判別分析方法建構土地利用變遷之預測模式。</p>

第四節 研究目的與流程

一、研究目的

本研究之主要目標在探討蘭陽平原海岸地區之土地覆蓋與沙丘性海岸變遷的關係，透過不同時期之衛星影像資料以及利用 GIS 地理資訊技術，觀察此區之土地覆蓋型以及海岸變化的情形，並整合空間計量分析的方式，瞭解此區土地覆蓋變遷的程度；特別針對沙丘性海岸，探討不同土地覆蓋型的變化與自然環境、人為造成的環境因子，對於此區海岸變遷之影響，期對人類與海岸地區環境如何相互影響更加的認識，並提供這個地區未來土地利用政策提供參考的依據。主要目的如下：

- (一) 利用衛星影像分類技術，瞭解不同時期蘭陽平原海岸地區土地覆蓋類型的變化情形。
- (二) 量化各土地覆蓋型之地景指標，並檢定其不同時期變遷程度的差異。
- (三) 探討土地覆蓋的變化與海岸變遷之間的關係。
- (四) 建立沙丘性海岸的變遷與自然和人為環境因子的關係。
- (五) 分別利用馬可夫鏈模式及二項式 Logit 迴歸分析，預測沙丘海岸未來地景變遷和模擬空間分佈的情形。

二、研究流程與內容

本研究流程見圖 1-3，而本研究之章節內容分述如下：

(一) 研究動機與目的

說明本研究之動機，並透過回顧海岸變遷與土地利用/覆蓋變遷研究之相關文獻，確立本研究之方法與目的。

(二) 研究範圍與材料

界定本研究區範圍以及說明此區之現況，藉由蘭陽平原海岸變遷研究之回顧，整理出影響此區海岸變遷之自然與人為所造成之環

境因子，並選定及蒐集影響因子之空間資料，作為後續探討沙丘海岸變遷 Logit 模式之空間分析因子。

(三) 相關理論與研究方法

依據本研究所應用之方法與流程如下：

1. 衛星影像分類的方法
2. 地景生態學與地景指標
3. 馬可夫鏈模式
4. 氣象資料之處理—地理統計法(一般克力金推估 Ordinary Kriging)
5. 地景變遷空間分析—二項式 Logit 迴歸模式

(四) 研究結果

根據上述方法呈現以下成果：

1. 衛星影像分類成果之檢核與不同時期面積之變化
2. 歷年土地覆蓋型地景結構變遷之情形
3. 馬可夫轉移矩陣分析及各土地覆蓋型之面積預測與驗證
4. 不同時期土地覆蓋型變化與海岸變遷之 Logit 模式分析
5. 自然環境與人為環境與沙丘性海岸之 Logit 模式
6. 模擬沙丘性海岸變遷之未來空間分佈情形

(五) 討論

依據上述研究成果討論：

1. 衛星影像分類
2. 地景變遷分析
3. 馬可夫鏈模式評估
4. 地景變遷模式的建立
5. 探討土地覆蓋變化與海岸變遷的關係
6. 沙丘海岸變遷空間分析之準確度

(六) 結論與建議

依據上述研究成果，歸納並提出後續之研究方向。

本研究流程如下圖 1-3 所示。

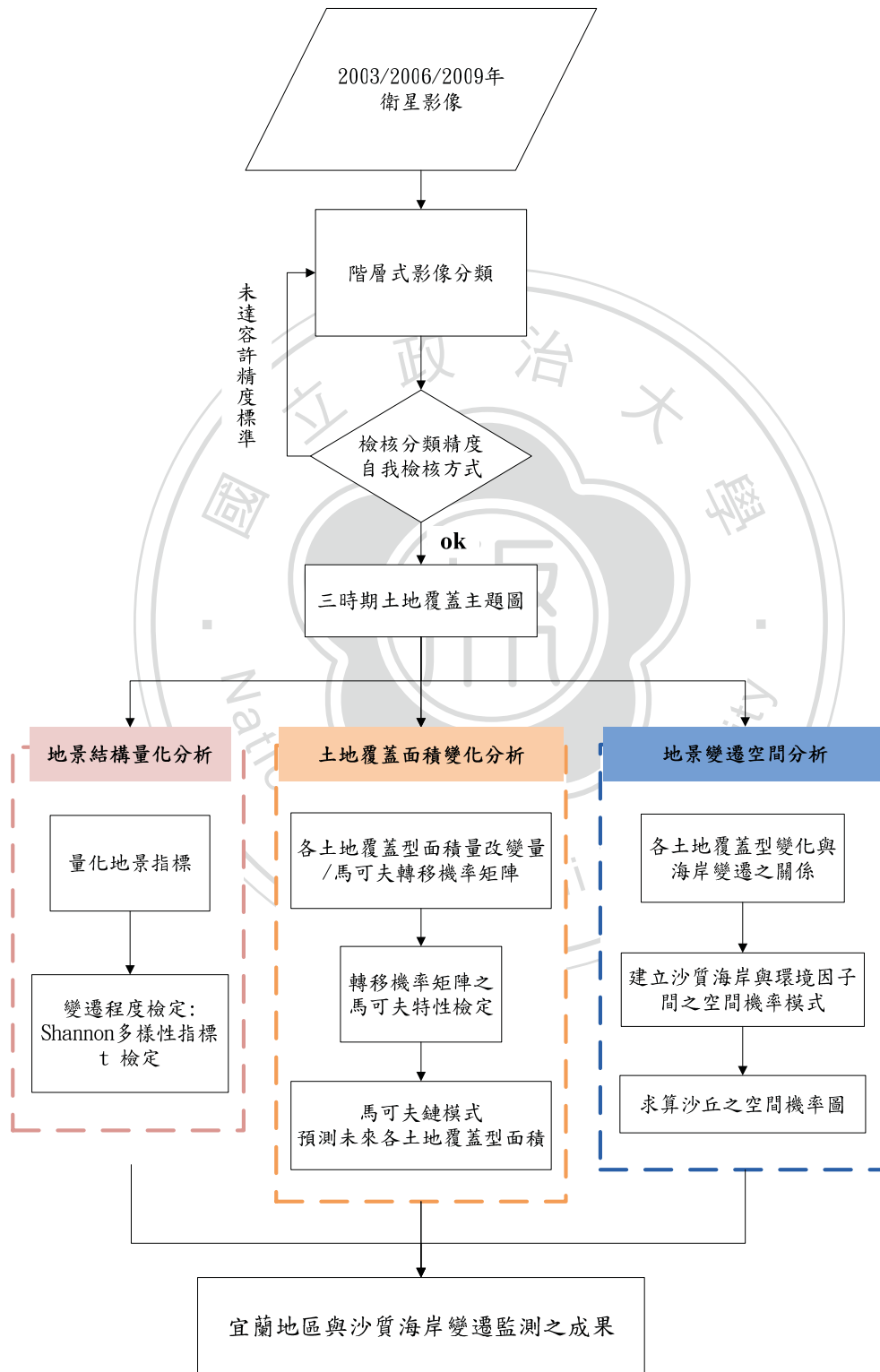


圖 1-3 本研究之流程圖

第二章 研究範圍與材料

第一節 研究區範圍與概述

一、研究區範圍

過去，臺灣海岸地區之管理，因管理組織紛歧，缺乏全面性且有效的管理法令及手段。臺灣本島因地理與地質因素，地震及颱風發生頻繁，尤其近年來，歷經 921 大地震後，原本敏感的地質更加脆弱，每遇颱風豪雨，即容易發生大規模土石流與洪水，台灣山區及沿海聚落受天災影響逐漸常態化。基於此，行政院於 2005 年核定通過「國土復育策略方案暨行動計畫」，其中，劃定海岸地區屬國土保育範圍，希望有效管制開發行為，降低自然災害的發生，減緩災害所造成的危害，並積極復育過度開發地區的生態環境。「國土復育策略方案暨行動計畫」中之「濱海陸地」劃設之範圍，以下列八項為原則：

- (1) 以最近海岸線之第一條山稜線或距海岸線 3 公里所涵蓋之區域為主。
- (2) 第一條山稜線距海岸線超過 3 公里之範圍，則以最近海岸線之省道為主，其他道路、明顯山頭之連線及行政區界為輔。
- (3) 海岸地區為海陸交互作用之地區，前項最近海岸線之省道如距離海岸線小於 1 公里，應以第二條省道、其他道路或行政區界為主。
- (4) 河口地區以接近海岸線主要道路之橋樑及堤防為界；另考慮生態敏感區之完整性予以納入。
- (5) 落實管理範圍之一致性，以公告之國家公園及國家風景特定區範圍為界。
- (6) 考量海岸地理空間之完整性，港區及在上述各項原則內之都市計畫區、工業區、核電廠、重大建設等開發地區亦列入海岸地區管理範圍。

- (7) 第一條山稜線距海岸線超過 3 公里，以平均高潮線向陸地 3 公里範圍或其他適當等高線劃設。
- (8) 為確保生態環境敏感地帶(如溼地、重要野生動物棲息地、各種生態保護區等)之完整性，海岸地區得超過距離海岸線 3 公里所涵蓋之原則。

相較於我國最早且完整的海岸地區劃設之官方定義—1984 年行政院核定實施的「臺灣沿海地區自然環境保護計畫」，其「保護區」劃設之範圍係將臺灣之沿海地區依資源特性分佈，選擇遭受破壞較少或將面臨破壞危機之地區設置為保護區，以保護珍貴的自然資源，作為環境影響評估或土地開發許可變更時審議之參考，而「國土復育策略方案暨行動方案」之「濱海陸地」為一地理空間完整之範圍，其範圍大於「自然保護區」，但影響效力僅對於公有土地之處分產生影響，「濱海陸地」與「蘭陽海岸保護區」之空間範圍，可見圖 2-1。本研究探討不同時期人為土地利用與環境之間的變化與關係，嘗試先以「臺灣沿海地區自然環境保護計畫」中的「蘭陽海岸保護區」作為研究範圍，若本研究方法可行，後續研究將可考慮擴至整個海岸地區，故選取涵蓋「蘭陽海岸保護區」之衛星影像作為本研究之試區，總面積為 2037.82 公頃，如圖 2-1 所示。

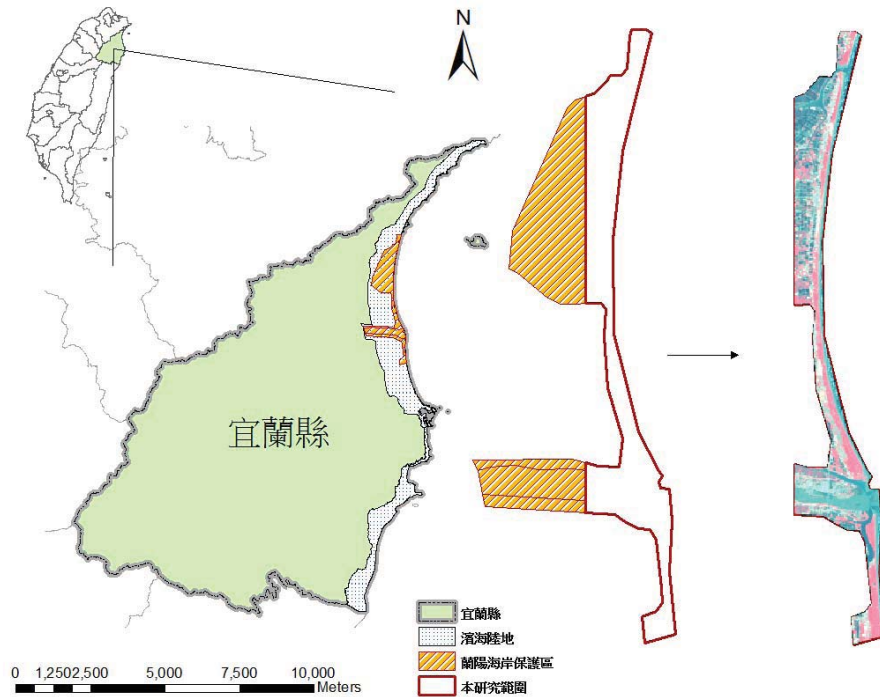


圖 2-1 「蘭陽海岸保護區」與本研究範圍圖

二、研究區概述

本研究區位於蘭陽平原上，屬於沖積扇地形區，北起頭城海水浴場，南至仁澤工業區之北緣，南北長約 20 公里，東抵海岸線，西鄰省道台二線、鄉間連絡道及蘭陽大橋，包含部分蘭陽平原內陸地區、竹安溪口以及與宜蘭河、冬山河匯流的蘭陽溪河口，依自然資源分佈特性，蘭陽大橋至蘭陽溪口及兩岸堤防涵蓋之區域為自然保護區，其餘地區為一般保護區。以下分別就研究試區之自然環境、人文環境等背景敘述說明：

(一)自然環境與土地利用之現況分析

蘭陽平原三面為中央山脈與雪山山脈環繞，由於地勢高聳、河流流路短、坡降陡等特性，造成河流侵蝕劇烈，加上境內雨量豐沛、輸砂顯著，蘭陽平原係以蘭陽溪為主之河流聯合沖積，自山麓向東側太平洋的沖積扇三角洲平原(Delta Fan)，因大量泥沙堆積旺盛，易形成砂嘴或沙洲地形，突出於海岸，而溪口兩側受海蝕的影響，使得平原海岸呈現一內凹的弓形海岸(許民陽、張政亮，2002)，自頭城外澳以南至蘇澳北方皆是沙丘性海

岸，綿延數十公里，相對於抗蝕性的岩岸而言，蘭陽平原的沙質海岸抗蝕性較弱，兼具敏感與動態性，易受外力影響而改變地貌(許民陽，1997)。

長期以來，頭城海水浴場海岸線受到侵蝕，沙灘不斷流失，海岸縱深不及 20 公尺，為顧及遊客水上活動的安全，於 2002 年宜蘭縣政府公告禁止從事海域水上活動(交通部觀光局東北角海岸國家風景管理處，2009)。而竹安溪與蘭陽溪出口處皆有沙洲存在，在不同時期差異變化大，圖 2-2 與圖 2-3 所示。由於蘭陽溪鹹淡水交會的河口濕地沼澤之生態環境，為長久以來為東亞候鳥遷徙的中繼站，因此此區已劃設為水鳥保護區。然蘭陽溪口河床地勢平坦、土壤肥沃，有部分被開墾旱作地，種植短期蔬果類農作物的情形(張長義等，1991)。

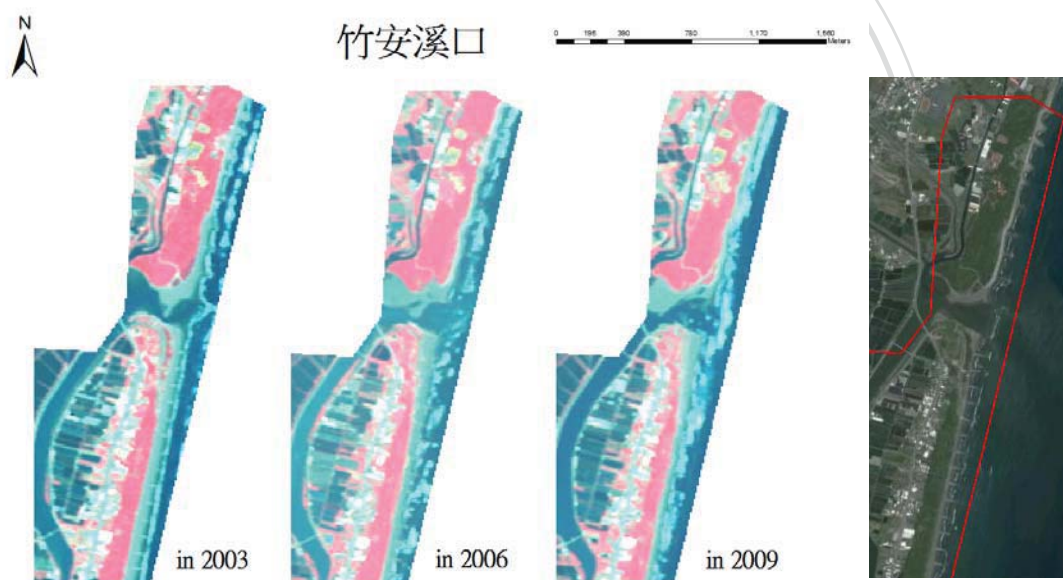


圖 2-2 竹安溪口歷年之情形

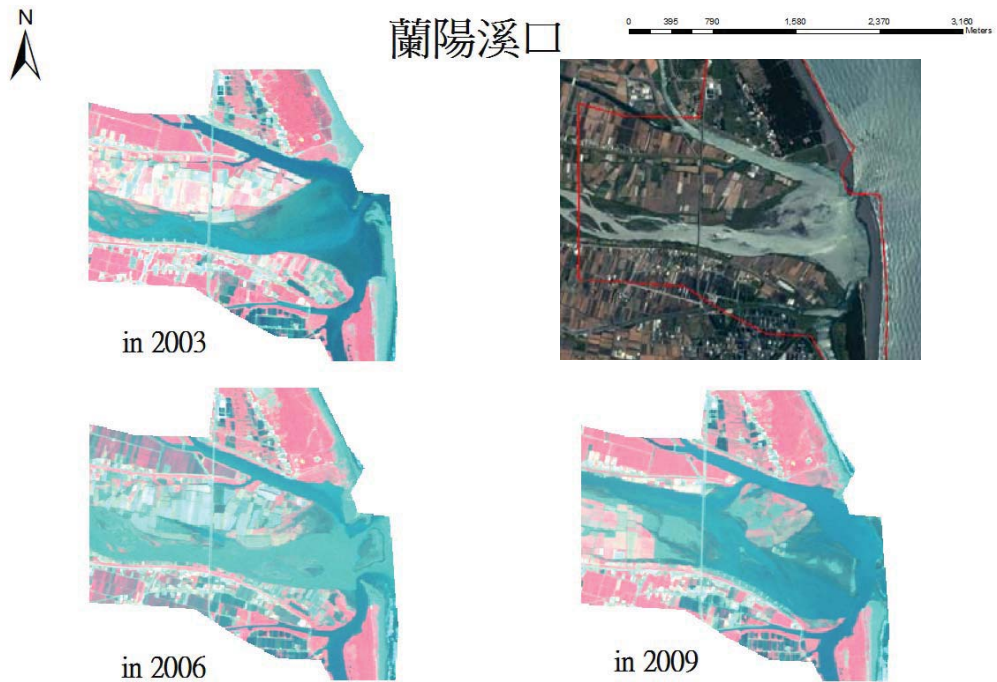


圖 2-3 蘭陽溪口歷年之情形

本區年平均溫度約為 22°C ，全年以七月份月均溫最高，可高達 28°C ，本區終年有雨，九月至十二月為颱風季節雨量最多之時期，全年降雨日超過 200 天，年平均降雨量超過 2700 公厘以上。本區受季風氣候影響，十月中旬至次年二月為冬季東北季風期間，地面盛行吹西風或西南風，六月至八月夏季西南季風期間，地面則多吹東北風及東風，此因季風吹達境內，受到平原周圍高山阻擋所致；此外，夏季沿海地區有海陸風的現象(張長義等，1991；宜蘭縣政府全球資訊網，2009)。

張政亮(1992)採用 R.Dolan(1972)海岸沙丘的分類標準，搭配實際情況，將本區之海岸沙丘依距海遠近與植被覆蓋之情形分為(如圖 2-4 所示)：

- (1) 濱灘帶(Beach)：指潮位線至活動沙丘前的平坦灘地。此區位於高潮線及暴風浪所及的後濱區，故常因潮汐或暴風浪沖濺堆積而形成濱堤(Berm)。濱堤沙丘並非長久存在，同樣的，容易受到潮位的變化及波浪的影響而再被侵蝕或改變堆積的位置。
- (2) 活動沙丘帶(Active Dunes)：位於濱線後 30 公尺的區域。此區沙

源來自於濱灘及濱堤，主要為風搬運堆積而成。若沙源充足，則可繼續堆積成長，反之，風蝕作用形成飛沙，甚至低下為風蝕窪地(Blowout)。亦容易因沙量供應多寡、植被生長情形、氣候條件及人為的開發利用，影響著此沙丘區的型態不斷改變。

- (3) 安定沙丘帶(Stabilized Dunes)：位於活動沙丘帶之後方，最靠近內陸的區域，為較早形成的沙丘，高約十餘公尺，目前沙丘上為保安林地，種植多為木麻黃、黃槿、林投等濱海防風、保安植物，為內陸都市以及農作物阻擋海風、東北季風及鹽害之天然屏障；但小部分遭到破壞，部分作公墓使用。

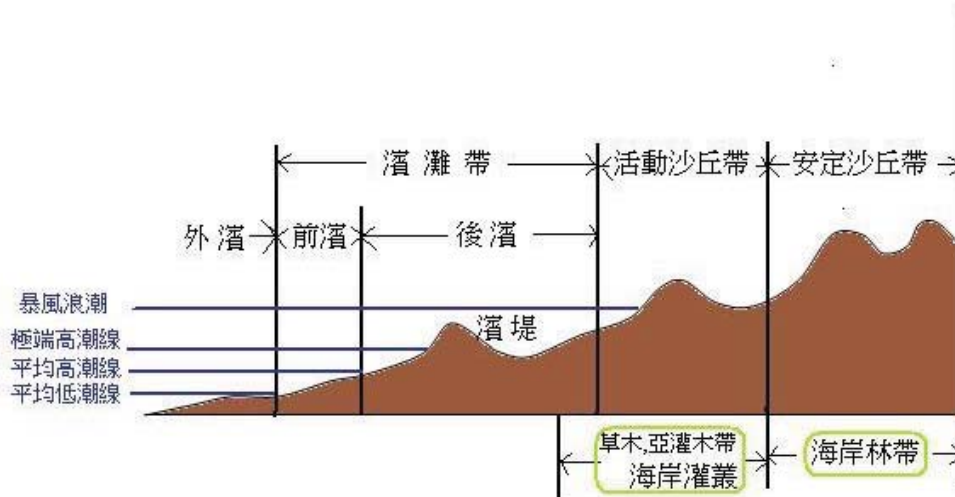


圖 2-4 海岸地帶分類示意圖(重繪自張政亮，1992)

然而沙丘地形後方多為潮濕地河道，河道常與沙丘平行流動一段距離而入海(張長義等，1991)，亦因蘭陽平原坡度十分平緩，地表多為沙泥質地，地表逕流不易下滲，加上出海口之沙洲阻擋，使河川不易出海，導致沙丘後方因水流淤積而形成後背溼地(Backswamp) 及沼澤區。由於此特殊的自然環境條件，導致此區每遇豪雨洪患或雨季，容易造成排水困難、洪水氾濫或瀉湖等現象(張長義等，1991；陳癸月，2003)，亦因此自然條件，此區多開發為魚塢，其中竹安溪口於 2009 年設立了大塢養殖專區，天然沼澤的景觀不再。

研究試區位於竹安溪、宜蘭溪、冬山河與蘭陽溪等溪流沖積而成的沖積扇平原上，土壤肥沃，圳道通達，本區為蘭陽平原第一級產業生產的重要基地，而本研究區以濱海公路為界，靠海側以細沙、沙土為主，因土質疏鬆、含鹽度較高，多闢為旱作，種植花生、甘藷及瓜類等作物；公路以西之海岸平原，因開墾較早，在客土與施肥下，土壤質地改善良多，故多種植水稻。因此在空間上呈現面積寬廣、視野通達的農田及魚塭養殖景觀。本文參考美國地質調查所之土地利用/覆蓋分類系統的第一級分類(Anderson et al., 1976)並搭配上本區土地利用型及土地覆蓋之特性，以及考量研究後續為了解不同時期海岸之變化，故本研究共將衛星影像分為水體、建成與交通用地、沙地、農地與林地等五大類別，其中水體包含了河川及漁塭養殖用地，而建成與交通地則涵蓋建築用地、道路、墳墓用地及裸露地等項目。

(二)蘭陽平原海岸變遷因子

回顧過去蘭陽平原海岸變遷之研究，整理出影響蘭陽平原海岸線後退、沙丘遭侵蝕可能的原因，作為後續沙丘海岸變遷之空間分析 Logit 模型解釋因子之參考，分別以自然與人為因子敘明：

1. 自然因子：

(1) 地殼張裂運動

在地質構造上，蘭陽平原的形成與台灣造山運動和沖繩海槽相關，由於太平洋板塊與菲律賓板塊碰撞，在擠壓的過程引發了地塹性斷層活動，於是沿著琉球火山島弧後方開始張裂，出現地塊局部陷落的弧後盆地，此盆地即為沖繩海槽(許民陽、張政亮，2002)；然而海槽之擴張作用仍持續進行，並有不斷向西延伸的現象，沖繩海槽谷向西伸展至蘭陽溪河口位置(陳恆全，1994)，陳惠芬(1981)經由三角點檢測，說明以蘭陽溪河口為沉降中心，每年以約四公分的下沉速度依次往平原內地遞減，依此數據，若蘭

陽平原輸沙堆積的速度不如張裂下沉的速度，平原進夷將可能停止甚至日趨退縮，長期作用的影響恐不得輕忽(許民陽、張政亮，2002)。

(2) 降水量

當雨季或颱風期時，大量的雨水造成之強勁逕流，不但會沖蝕地表土層，更加強河流的水量與流速，將河流沉積物加速帶往海裡堆積，並提供豐富的漂沙往海岸堆積，而河川流量的多寡往往影響輸砂量的豐盈，統計 2006 年之中央氣象局羅東測站月平均降雨量與經濟部水利署蘭陽大橋測站之逕流量與輸砂量，由兩相近之測站，圖 3-5、3-6、3-7 可看出此區之降水量、逕流量與輸砂量的關係，可明顯看出降水量、逕流量與輸砂量三者呈現正比的關係。此外，適當的降水量具有灌溉沙丘土壤，利於植物生長，使沙丘安定、飛沙減少的作用；暴雨驟降，則會使原本膠結不好的沙丘遭到破壞與崩塌，而影響沙丘發育(張政亮，1992)。



圖 2-5 羅東站 2006 年之月平均降水量

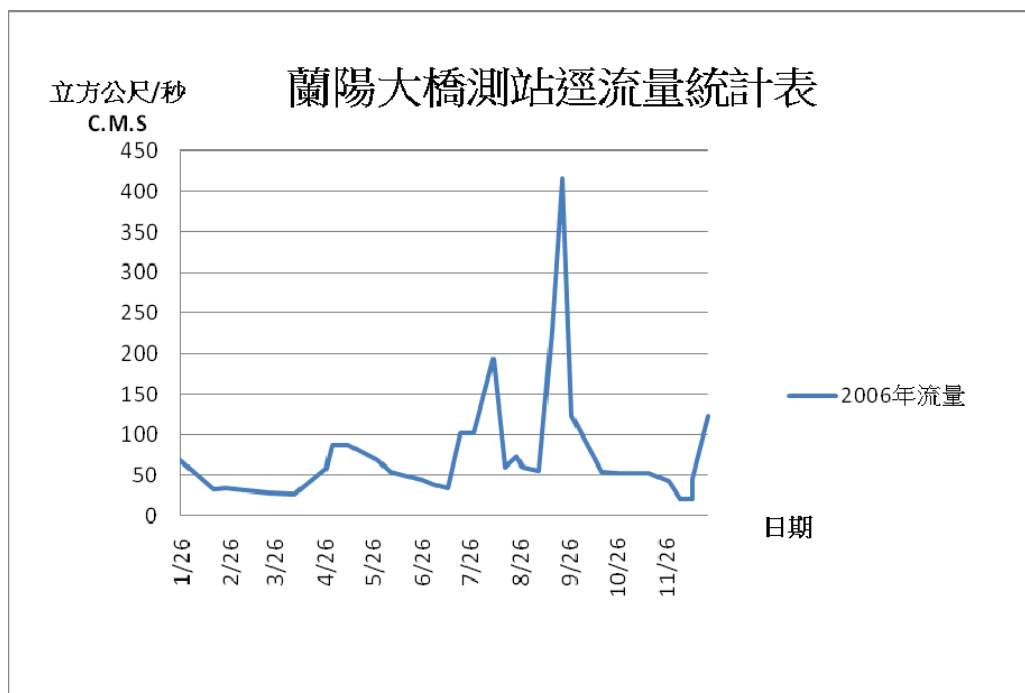


圖 2-6 2006 年蘭陽大橋測站逕流量統計

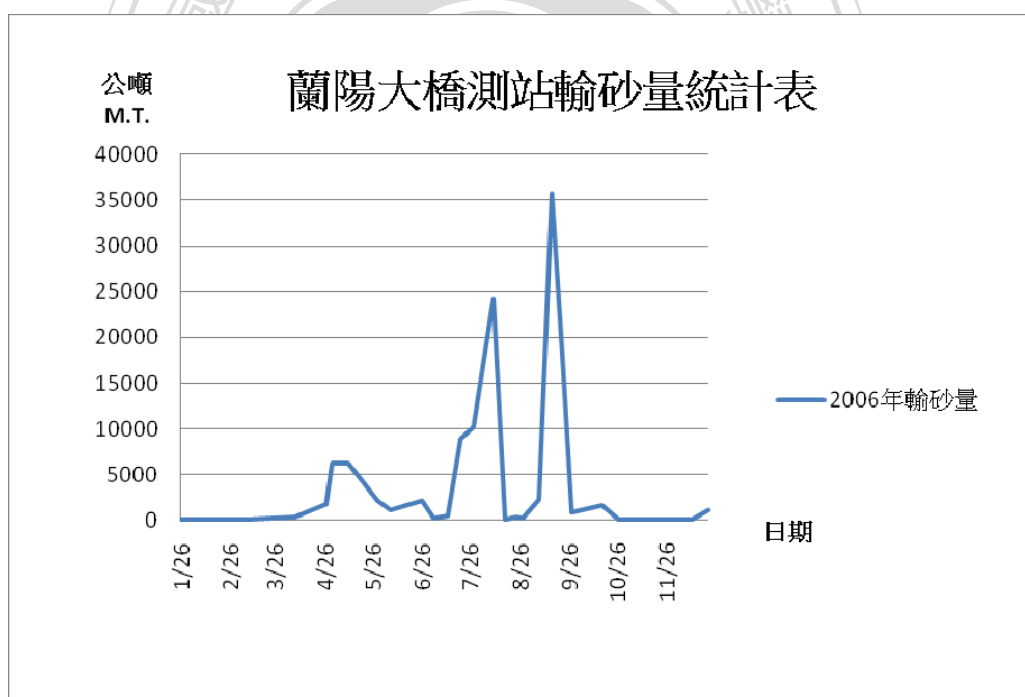


圖 2-7 2006 年蘭陽大橋測站輸砂量統計

(3) 河流輸砂量減少

海岸灘沙為沿岸漂沙所聚集而成，而沿岸漂沙主要來源即為河流之輸砂量，河流輸砂量的多寡不僅影響海底地形，亦主導海灘的變化(許民陽、張政亮，2002)。除了自然因子之降水量與輸砂

量關係外，近年來，人為的河川開採砂石、興建攔砂壩、河川護堤等工程與部分地區超抽地下水，均被視為影響河川輸砂量減少的原因(許民陽、張政亮，2002；鍾鴻文，2003)。

(4) 風

造成沙丘形成的陸上搬運系統主要以風之營力最為重要，風向會影響飛沙堆積的位置，風速則左右飛沙堆積的規模大小。一般而言，在寬廣的地區，地表及地形的粗糙障礙處均為良好的風積場所，當飛沙通過植被帶時，風會受到阻礙而形成亂流(Turbulent Flow)或渦流(Eddy)，使植被後方產生一弱風帶，沙粒便在此侵積作用(Encroachment)，漸次堆積成沙丘；而飛沙在沙丘的運動乃由迎風側往背風側移動，迎風側坡度緩，背風側則因風速減弱，產生渦流吹蝕沙粒，使背風側沙丘形態產生急傾斜，當角度大於 30° 至 40° 安定角的界線時，則會產生崩解(張政亮，1992)。

(5) 波浪

在海濱地區，波長較大的湧浪(Swell，又稱膨脹浪、回盪浪)常是一種建設性的波浪，因為它的波高比較小，能將沙粒推上岸，而暴風浪一般有較大的波高、較短的波長，因此較具破壞性，易造成海濱的侵蝕(張政亮，1992)。

(6) 潮汐

潮汐是由太陽、月亮和地球三個星體重力牽引，因其相對位置的改變所造成的週期性海面昇降的現象。潮汐伴生的潮汐流侵蝕海岸的能力一般不強烈，但對於海埔新生地、沙洲、海灘等海岸堆積地形具有影響力(王鑫，1988)。

(7) 沿岸流

沿岸流為碎波拋出，在破波帶內之水體，形成一種傾斜而沿海岸平行流動之水流，常為風浪、海流、補償流等流體連續性所形

成的。沿岸流會攜沙漂移，沿海濱流動，到適當的地點形成堆積。本區的沿岸流受波浪與海流之影響，方向由北向南移動(張政亮，1992)。

上述整理出之自然因子中，沖繩海槽之地殼張裂運動對海岸影響屬於長時距之研究尺度，而本研究所探討之海岸變遷，屬於短時距時間尺度，因時間尺度的不同，故本研究將不考慮地殼張裂運動對於蘭陽平原海岸之影響。除此之外，海中搬運體系之波浪、潮汐以及沿岸流等三種營力，涉及當時當地之氣候條件且三種營力造成的作用，關係於波浪的波速與波向甚至波浪的能量、沿岸流及潮汐之流速流向、沿岸漂沙量計算等等複雜因子交互影響，故不能用單純的統計量表示。故本研究選擇陸上主要的搬運營力-風、與沙丘生成環境相關之坡度因子以及影響沙源供給有直接與間接的降水量因子作為沙丘海岸變遷模式之自然環境因子，除此之外，由於海拔的高低影響地區的微氣候不同，亦可能為影響沙質海岸生成之自然環境，故本研究亦嘗試將海拔高因子納為模式的解釋因子之一。

2. 人為因子：

(1) 開採砂石

沙丘的沙源主要為河流的輸砂量，而人為的河川抽沙利用，相對減少了沙源的補充，1991 年以前再連至蘭陽溪河口(位於蘭陽溪中下游)為砂石開採的黃金地段(林德清，2005)，當時蘭陽溪每年輸砂量約為 800 萬公噸，而每年開採之砂石量卻高達 900 萬公噸(宜蘭縣政府，1991)，已嚴重超採，造成河沙、漂沙注入量不足，影響灘沙來源，造成海岸後退和沙丘侵蝕(許民陽、張政亮，2002)。因此，宜蘭縣政府於 1991 年公告停止人民申請且嚴格管制砂石開採。

(2) 地層下陷

蘭陽平原之地層下陷主要發生在濱海的平原地區，此區過去養殖漁業的蓬勃發展，魚塭面積大幅增加，根據農漁業調查報告 1985 年本區以抽地下水養殖的面積占總數之 93.9%，其比率為台灣地區的 3 倍(許民陽、張政亮，2002)，然而蘭陽平原之地層下陷與地下水位之下降關係密切(陳江淮等，1995)，宜蘭地區之地下水位每年 9 月至隔年 1 月為高水位期，3 月至 7 月為低水位期，而養殖漁塭用水高峰恰於炎熱之夏季期間，近而顯示地層下陷與養殖漁業興盛期抽取地下水有密切相關。然而 1990 年後因為蝦類病變，許多漁塭因而閒置或轉作其它用途，另外濱海地區亦被列為地下水管制區，使得地下水位有了回升的契機。

近年來宜蘭縣之地層下陷趨勢已舒緩，自 2000 年至 2004 年皆無持續下陷面積。惟 2005 年下陷速率高於 3 公分/年，持續下陷面積達 0.2 平方公里，最大累積下陷總量則增為 0.44 公尺，主要下陷中心為五結鄉，表 2-1 為宜蘭地區 1984 年至 2007 年下陷概況(經濟部水利署地層下陷防治資訊網，2003)。

表 2-1 宜蘭地區 1984 年至 2007 年下陷

觀測期距	1984-2002	1984-2003	1984-2004	1984-2005	1984-2007
最大累積下陷總量(m)	0.42	0.42	0.42	0.44	0.45
持續下陷面積(km ²)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
年下陷速率(cm/year)	2.5	0.5	0.5	3.1	1.0

(3) 海岸人工結構物

設置海岸人工結構物有兩個主要目的：一為防止漂砂阻礙航道或港灣並改善航行，如：港口防波堤(Breakwater)；二是防止海岸

侵蝕，如導流堤(Jetty)或突堤(Groin)等。本區在海岸侵蝕嚴重地段及緊鄰人口聚集區，如竹安溪南岸、大福鎮安宮、狀園公館、蘭陽溪南岸等多處，已有突堤群的設置。突堤為垂直於海岸線或與海岸線形成某種夾角，由沙灘向海側方向興建，且突出於海岸之結構物，具有攔截沿岸漂沙、控制海灘地形、改變海岸線方向及阻擋沿岸流或改變潮流方向，進而減少海岸侵蝕之效果(黃君偉，2004)。

鍾鴻文(2003)透過斷面測量記錄 1997 年至 2000 年期間宜蘭海岸海灘地侵淤之情形，結果顯示於 1995 年至 2000 年期間興建之拋石海堤與突堤群，已有改善海岸侵蝕之情形，尤其在突堤群內有大部份形成淤積。陳癸月(2003)於 2002 年至 2003 年在壯圍鄉上大福突堤群區域實測，結果此區有堆積現象，此區突堤有明顯的攔砂與養灘功效，許民陽與張政亮(2002)實測蘭陽溪南岸突堤群，顯示在 1999 年至 2000 年亦有養灘堆積的現象，但也發現如果海蝕非常劇烈的地區，突堤功效亦無法發揮，有些突堤在這一年的之間因侵蝕而沒入水中。

然而突堤的興建，因其對於海流運動及有漂沙遮攔等的影響，破壞了原來海岸之自然平衡狀態，引起地形之改變(黃君偉，2004)。由於突堤不僅阻擋水流，亦使波浪產生繞射與反射的現象，使遮蔽區之波浪變小，流速降低使泥沙沉澱，而反射區之波浪則變大，流速增加，泥沙易搬運移動，而繞射使波向線向堤後彎曲於堤背後形成環流，將沙泥帶向堤後。如突堤較短，離岸流可能折向突堤下游方向，則可繼續將漂沙帶往下游側海岸(許民陽、張政亮，2002)。若堤長太長，將沿岸漂沙完全阻擋，下游無法獲得沙源，因此呈現迎海流側堆積、背海流側侵蝕的情形發生，即為「突堤效應」，如下圖 2-8 所示。



圖 2-8 突堤效應示意圖

蘭陽平原北岸的頭城烏石港興建，為改變海岸線明顯的例子，由於本區沿岸流漂沙方向為由北往南，以至於堤防以北，即烏石港北岸堆積迅速，海岸大幅前進，而港灣以南延伸 2 公里於頭城海水浴場，受到突堤效應的影響，導致原本灘沙海岸嚴重侵蝕後退(許民陽、張政亮，2002)，以至於 2002 年宜蘭縣政府公告禁止開放。

根據經濟部水利署統計宜蘭縣海岸地區 2006 年至 2008 年各年之時間斷面統計出之海堤設施與海岸保護工設施的數量與長度均不變，海堤設施總長為 10,013 公尺，海岸保護工設施為 4,307 公尺。

(4) 河流上游護堤及攔砂壩工程

本區由於山勢急峻、河流短急，加上地質脆弱，沿海地勢低窪、排水不良，每遇颱風豪雨易發生洪患為害，因此政府從事水土保持和河川整治，以興建攔砂壩、維護硬體防洪設施為主。然而因攔砂壩能截阻河中沙泥，海岸護堤則不但使河流無法向兩岸侵蝕，且使下雨時地表逕流侵蝕的沙泥無法注入河川，導致河流輸砂量的補助量不足(張政亮，1992)，進而影響海岸堆積與侵蝕的

失衡，造成海岸後退的情形發生，由經濟部水利署統計，迄至 2006 年底為止，蘭陽溪主流部分完成堤防 150,046 公尺，護岸 4,819 公尺。

(5) 海岸保安林

沙丘地帶的飛沙和飄鹽，往往影響海岸地區作物的生長，甚至破壞公共設施，危及人民生活環境。適當的植被栽種，具有降低風速、改變風向及增加蔽風範圍等抑止氣流運動的功能(游繁結，1989)，故能減少因強風所帶來的飛沙和飄鹽，達到防風定沙的功能。

以上人為因子須加以量化後，才能作為海岸變遷影響的解釋因子之一。然而近年來本區之地層下陷量漸趨平緩，地層下陷量為長期觀察所得，本研究所使用之材料為短時期、近十年之資料，較難以表示短時期下陷之程度，故不考慮地層下陷之因子；然而開採砂石，實際上無法得知真實開採砂石的地點，故本研究考慮以距道路遠近因子作為代替開採砂石的因子，距離道路越近，開採砂石機具才容易到達，減少運輸成本，相對於也越容易改變土地利用方式。河岸護堤與海岸人工建物於研究資料期間變化不大，故亦量化與其距離之遠近，作為人為環境因子之一。表 2-2 為相關文獻認為可能影響宜蘭海岸變遷之自然與人為環境因子，以及本研究建立 Logit 沙丘海岸變遷空間分析之模式所選用之解釋因子。

表 2-2 宜蘭海岸變遷可能因子以及本研究模式建立所選之解釋因子

	自然環境與氣象因子	人為環境因子
可能影響宜蘭海岸變遷之因子	<ol style="list-style-type: none"> 1. 地殼張裂運動 2. 河流輸砂量 3. 降水量 4. 風(季風、海陸風) 5. 波浪 6. 潮汐 7. 沿岸流 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 開採砂石 2. 地層下陷 3. 海岸保護人工結構物興建 4. 河川上游護岸工程及攔沙壩的建設 5. 海岸保安林栽植
本研究選用之因子	<ol style="list-style-type: none"> 1. 坡度 2. 降水量 3. 風(包含風速、風向) 4. 海拔高 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 距堤防遠近 2. 距道路遠近 3. 距海岸保安林遠近 4. 距河流遠近



第二節 研究材料與預處理

本研究首先透過衛星影像分類的方式，以獲取宜蘭海岸地區不同時期之土地覆蓋類別，並利用 95 年度第二次國土利用調查資料作為檢核影像分類之基準，分類精度若達到容許程度，分類結果進一步作為後續土地覆蓋變遷計量分析的來源，並蒐集上節選擇可能影響海岸變遷因子的空間資料，利用 ESRI 之 ArcGIS 軟體處理各環境因子之空間分佈圖層，作為後續土地覆蓋變遷解釋模式分析之用，探討這些自然與人為造成之環境的空間差異對於宜蘭海岸變遷的影響，以下詳細說明本研究所使用及分析之圖籍資料：

一、衛星影像

本研究期透過衛星影像獲取宜蘭海岸不同時期之土地覆蓋型資訊，故採用 SPOT 5 多光譜衛星影像，購置於中央大學太空及遙測中心，影像等級為 level 3，屬於精密幾何改正之正射影像，包含綠光(Green)、紅光(Red)、近紅外光(Near Infrared, NIR) 三個波段之 10×10 公尺空間解析度之原始影像，以及短波紅外光(Short-Wave Infrared, SWIR) 原空間解析度為 20×20 公尺，經由中央大學太空遙測中心處理過後之 10×10 公尺空間解析度影像，總共四個波段影像，本研究所使用三個時期的影像拍攝日期及其屬性說明如下表：

表 2-3 本研究使用之衛星影像屬性說明

	2003 年 (時段一)	2006 年 (時段二)	2009 年 (時段三)
衛星代號	SPOT 5	SPOT 5	SPOT 5
拍攝日期	2003/06/01	2006/04/11	2009/05/29
光譜解析度	綠光：0.50 to 0.59 μm 紅光：0.61 to 0.68 μm		

	近紅外光:0.78 to 0.89 μm 短波紅外光 : 1.58 to 1.75 μm
空間解析度	綠光、紅光、近紅外光：10×10 m。 短波紅外光：20×20 m。
影像等級	Level 3
坐標系統	TWD97
雲層覆蓋率	0%

由中央大學得到之影像產品檔案包含影像(.bsq)、影像說明(.ers)、控制點說明(.gcp)、校正成果說明(.qc)、相關之影像產品報告(.rpt)及影像使用規約文件等。其中影像產品報告記錄了該影像之像元解析度(Pixel Spacing)、坐標系統(Map System)、影像之四角坐標(Corner Parameters)、影像尺寸(Image Size)等資訊(劉進金等, 2008)。首先,本研究利用 ERDAS IMAGINE 軟體之匯入(Import)功能,將各波段無檔頭資訊的二進位影像檔(.bsq)輸出成 ERDAS 影像檔(.img),並根據產品報告檔的內容依次輸入影像的行列數,並指定資料的型態。完成各波段影像匯出影像檔(.img)後,將四個波段影像疊合(Layer Stack)成一幅四波段的影像,並根據影像報告檔取得地理坐標資訊(Map Info),輸入左上角坐標、解析度、坐標單位及投影方式即完成。進一步,利用內政部營建署五千分之一「蘭陽海岸保護區」範圍圖,切取(Subset)三時期本研究區之衛星影像,如下圖 2-9 所示,後續以影像分類的方式將影像分類為水體、建成與交通用地、沙地、農地與林地等五大類別。

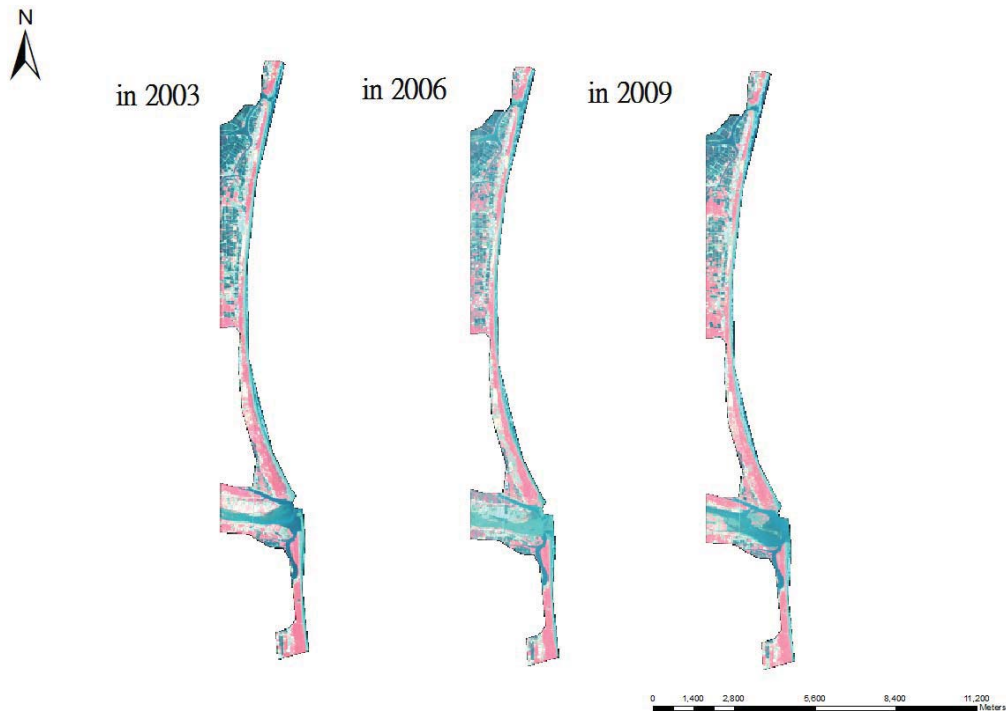


圖 2-9 本研究區三個時期之 SPOT 5 衛星影像

除此之外，本研究作為沙丘海岸變遷空間分析之海岸保安林距離因子，是以衛星影像分類後所得之林地作為海岸保安林之基準圖。網格的大小代表區域內最小區塊的面積，若以較低的空間解析度來展示資料，可能會有部分資料流失的疑慮，而本研究以 10×10 公尺空間解析度之衛星影像分類主題圖資訊為分析對象，故其餘供後續模式分析所使用之圖資，均統一轉換成 10×10 公尺網格資料作為資料展示及分析之空間解析度。

二、95 年度第二次國土利用調查資料

土地利用是人與土地間互動過程所呈現的具體型式之一，由於社會文化、政治經濟發展及自然環境的不同，所展現的土地利用型式也不同。鑑於對土地規劃之殷切需求，內政部於民國 84 年度結合中央及地方地政、戶政及稅捐等機關人力，辦理第一次全國性之土地利用調查作業，藉由地面調查方式及獲取當時已登記土地的使用狀況，作為土地管制作業依據。隨著全球經濟的蓬勃發展，土地利用的變化加快且日趨複雜，使得過去資料已不敷使用，因此 95 年度起辦理第二次的全國性土地使用分類調查。95

年度之作業由內政部國土測繪中心分年度辦理全國 23 縣市之國土利用調查作業及成果資料整合建置，對每筆土地之使用情形，先以影像判釋進行分類，再針對建物及無法確定使用情形之土地進行實地調查、拍照、分類及建檔等工作。

第二次國土利用調查土地使用分類系統為層級式樹狀結構，共分為 3 級。第一級分為 9 大類，第二級就第一級之劃分再細分 41 類、第三級則就第二級之架構再分為稻作等 103 類，均分別給予編碼。本研究向國土測繪中心申請 95 年度第二次國土利用調查資料，作為衛星影像分類時，選取訓練樣區與分類檢核區之依據，故將第二次國土利用調查土地使用分類重新分類為本研究欲分析之五大類別，分別為水體、建成與交通用地、沙地、農地及林地。故利用 ArGIS 地理資訊系統軟將第二次國土利用調查空間資料重新分類(Reclassification)並將其轉換成 10 公尺解析度之網格式資料，本研究之分類對應第二次國土利用調查分類系統之分類標準如表 2-4；除此之外，後續空間分析之距離堤防遠近因子運用第二次國土調查資料，單獨匯出(Export)堤防之圖層，利用歐幾里德距離(Euclidean Distance)計算每個網格點距離堤防之空間距離資料。

表 2-4 國土利用調查之土地利用重新分類表

編碼	目標類別	國土利用調查分類	國土利用調查原分類編碼
1	水 體	水產養殖	010200
		河道	040101
		溝渠	040200
		其他蓄水池	040303
		人工湖	04304
		海面	040700
		溼地	090200
2	建 成 與 交 通 用 地	畜禽舍	010301
		農業附帶設施(溫室/倉儲等)	010401/010402/010403/010404
		鐵路及相關設施	030201/030203
		道路(國道、省道、一般道路及相關設施)	030301/030302/030303/030304
		港口(商港、漁港等)	030401/030402/030403
		水利結構物(堤防、水閘門、抽水站及其他設施)	040104/040501/040502/040505
		防汛道路	040600
		建築交通使用地 / 公共設施使用地 (第一級分類全類別)	05/06
		文化設施	070102/070103
		遊樂場所/體育場所	070202/070203
		裸露地(崩塌地/礁岩/裸露空地)	090402/090403/090404
		營建剩餘土石方/空置地	090700/090801/090802

3	沙地	水道沙洲灘地/灘地(沙灘、海灘、潮間帶)	040400/090401
4	農地	農作(第二級分類全類別)	010101/010102/010103/010104
		牧場/草地	010302/090300
5	林地	天然林	020102/020203/020104
		人工林	020201/020202/020203/020204
		公園綠地廣場	070201
		灌木荒地	090500

三、宜蘭縣之道路與河流圖層

宜蘭縣之道路圖層與河流圖層，分別由宜蘭縣政府及內政部水利署取得，資料精度各為五千分之一與二萬五千分之一之圖層，為度量道路與河流距離於沙丘性海岸變遷空間分析因子之基準圖層。

四、數值地形模型

海拔高度的變化影響區域之微氣候，而坡度、坡向及日照等因子亦受海拔高度的影響產生變化，因此對土地覆蓋型之分佈而言，海拔的高度以及坡度等子實為自然環境之考慮因子。本研究採用農林航空測量所產製之空間解析度為 20×20 公尺數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)，為配合分類主題圖之精度，利用 ERDAS IMAGINE 軟體重新取樣(Resample)至 10×10 公尺之空間解析度為後續分析因子之海拔高空間分佈圖；另外，透過 ArcMap 的空間分析(Spatial Analysis)模組中的地表分析(Surface Analysis)，求算本區之坡度圖亦供為後續分析之用。

五、氣象資料

根據上節選擇之自然因子—降水量、風速與風向，搭配本研究三時段之衛星影像，向中央氣象局購置 2003 年六月至 2006 年三月宜蘭縣周邊 11 個氣象站之月平均降水量、月平均風速及風向等三項資料，11 個氣象站包

含蘇澳、龜山島、泰平、四堵、礁溪、宜蘭、羅東、福隆、三貂角、蘇澳及東澳，月平均氣象資料之單位降水量為毫米(mm)，風速為公尺/每秒(m/s)，而平均風向則為360度(°)。圖2-10所示為十一個氣象測站分佈之情形。而氣象資料的預處理與空間分佈因子圖層的建立在第三章第四節介紹與說明。

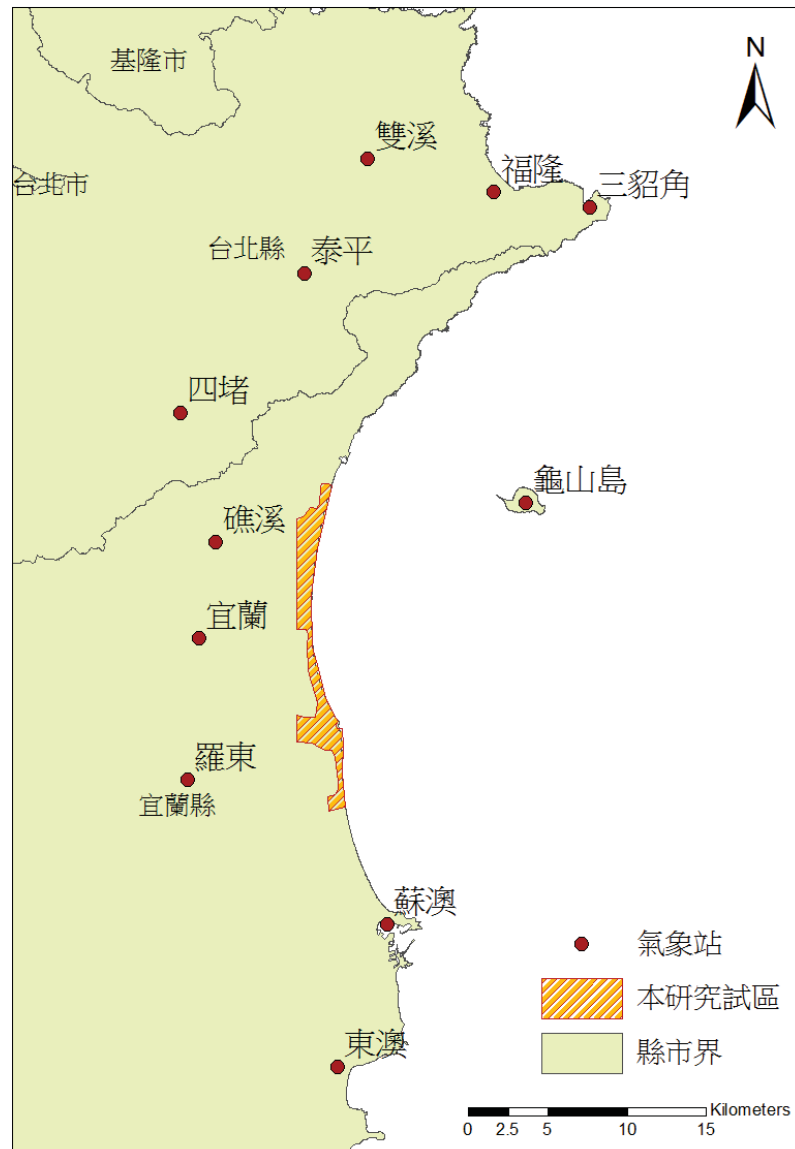


圖 2-10 氣象測站之分佈圖



第三章 相關理論與研究方法

本研究透過衛星影像分類方法獲得不同年之蘭陽平原海岸地區之土地覆蓋型資訊，並應用地理資訊系統之技術，除了運用面積改變量描述不同時期之蘭陽平原海岸地區整體之土地覆蓋型變遷的情形之外，分別量化地景指標分析宜蘭海岸地區地景之空間結構並利用 Shannon 多樣性指標 t 檢定法進行不同時期變遷程度的檢測，以及透過馬可夫轉移矩陣(Markov Transition Matrix)以了解本區各土地覆蓋型相互改變的情況，並建立預測未來面積的馬可夫鏈模式。進一步，量化影響沙丘海岸的自然環境因子及人為環境因子，建立蘭陽平原沙丘性海岸變遷之 Logit 解釋模式，分析其沙丘海岸空間分佈的特性，並求算沙丘性海岸空間分佈機率圖。最後，利用 2009 年土地覆蓋型分類結果驗證二項式 Logit 迴歸模式之準確率及探討模式之可行性，依本研究之程序將其相關理論與方法分述如下。

第一節 衛星影像分類

本研究採取分類後比較法(Post-classification Comparison Method)，由於此法能夠瞭解各土地覆蓋型在不同時期空間分佈的情形，並參考階層式影像分類(Hierarchical Classification)的概念(Jensen, 2004; Heisele, 2003)，進行衛星影像之土地覆蓋型監督式與非監督式分類。階層式影像分類的概念係先將影像依分類目標分成較高層次、範圍較大的類別，再細分其類別之特性為下一層之子集類，例如：植被再區分為農田與森林。圖 3-1 為影像分類之流程圖。

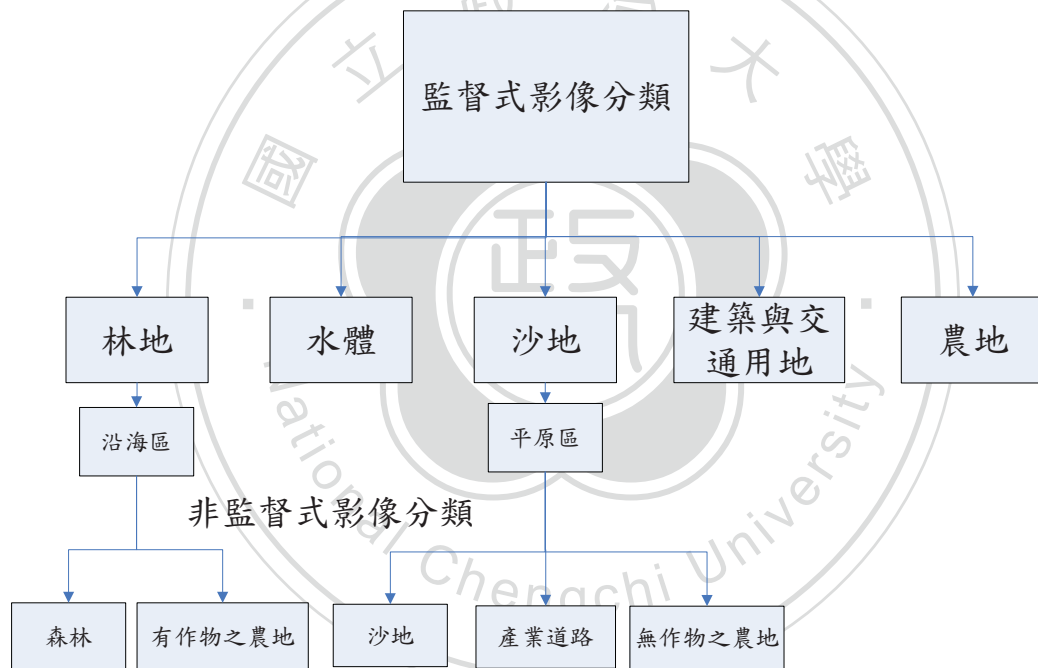


圖 3-1 本研究影像分類流程圖

依據此概念，首先利用監督式影像分類法(Supervised Classification)，利用影像判釋及參考 95 年度第二次國土利用調查資料，在影像上框選訓練樣區，藉由轉換分離度指數(Transformed Divergence；TD)評估各樣區光譜被鑑別之能力，TD 值愈大，代表兩組類在光譜特徵空間上愈容易被區分，若 TD 值小於 1700，則表示所選取之訓練樣本對於類別分辨之效果不彰(Jessen, 2004)，故將合併兩樣本，利用上述整合後的樣本光譜特徵統計資

料，透過最大概似法(Maximum Likelihood)執行整張影像分類，由此得到為 2006 年之第一次土地覆蓋主題圖；藉由文獻回顧及土地利用調查等輔助資料，了解本區土地利用分佈之空間型態後，鑒於農作地與沿海之海岸保安林之光譜特徵相近，故將本研究區再劃分為沿海區及平原區，在兩區域中各別切割第一次分類之土地覆蓋圖類別影像，利用非監督式影像分類法(Unsupervised Classification)再行分類，分類完成將其併回欲分類之土地覆蓋型類別，得到 2006 年最後之土地覆蓋型主題圖。

進一步，將 2006 年分類主題圖成果與 95 年第二次國土利用調查資料所選之檢核區比較，計算影像分類成果之精度，由於本研究土地覆蓋之分類類型屬於美國地質調查所分類系統之第一級分類，當分類準確度達 85% 以上時(Anderson et al, 1976)，則依上述分類之程序取得 2003 年與 2009 年兩年度之土地覆蓋主題圖。

第二節 地景生態學與地景結構的量化

獲得三個時期之土地覆蓋型主題圖後，分別透過地景指標之量化及建立馬可夫矩陣，了解蘭陽平原海岸於三個時期內，各土地覆蓋型之空間結構以及所占面積百分比變化之情形，並透過 Shannon 多樣性 t 檢定法評估三個時期土地覆蓋變遷程度。本節將介紹地景生態學之理論基礎以及本研究所使用的地景指標之分析方法。

一、地景生態學之理論與應用

地景生態學(Landscape Ecology)是在 1930 年代由德國生物地理學家 C. Troll 所提出，結合生態學與地理學的概念，將生物所存在的空間視為由許多地景要素(Landscape Element)所組成之異質鑲嵌體(Mosaic)，其研究範疇在探討某一地區於不同的空間單元中，自然環境與生物物種間的相互關係(Forman and Godron, 1986)。地景生態學家將地球的陸域，分成由許多大小空間要素組成的層級(Hierarchy)系統，Nancy Diaz & Dean Apostol (1996)指出，地球的陸域是由許多的區域(Region)所構成，區域之中又分為許多的小區(Subregion)，小區由數個不同的地景所組成，地景中則又包含了一些不同的林分(Stand)及組織(Organism)，而探討以上各種水平與垂直空間要素間的相互作用及關係，即為地景生態研究的主要任務(如圖 3-2 所示)(吳治達，2004)。

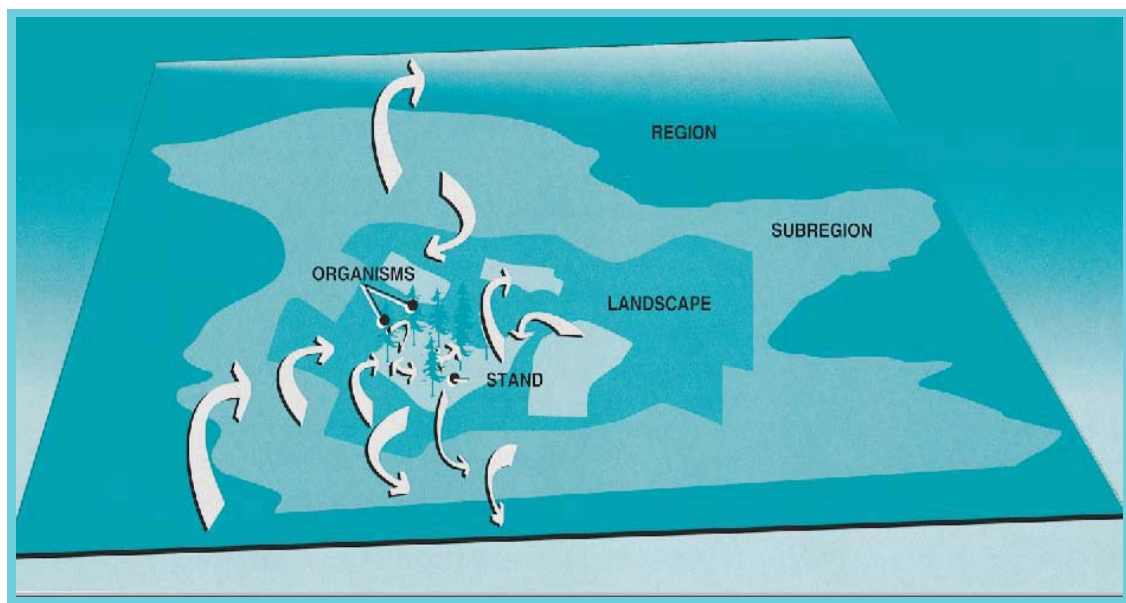


圖 3-2 地景生態空間單元層級關係(Nancy Diaz & Dean Apostol, 1996)

地景是由地貌與各種干擾作用的組合，所形成的一種具有特定結構、功能和動態特徵之宏觀系統。地景生態學即主要研究各種時空尺度下，地景內部的空間結構(Structure)、功能(Function)、地景組成要素(Landscape Elements)之間的相互關係及變化(change)情形。其中地景結構(Landscape Structure)係指不同生態系統或要素間的空間關係，地景功能(Landscape Function)是指空間要素間的相互作用及互動關係，而地景變遷(Landscape Change)是指地景的動態特徵，即地景的結構與功能隨時間發生的變化(張啟德，1994)。

一般而言，地景結構主要由地景要素所組成，地景要素依其形狀及作用，可分為基質(Matrix)、嵌塊體(Patch)與廊道(Corridor)三種型態所構成。各個地景要素間存在著複雜的物種交換、能量與物質的交流關係，除了其特性之外，地景要素的空間配置方式及排列型態亦是值得探討的(Forman and Godron , 1986)。以下分別就三種地景要素加以說明：

- (一) 基質(Matrix)：基質是一個同質性的空間，其內鑲嵌一些異質性的區塊，基質在地景要素中較其他要素所佔比例最大，對整體環境具有決定性的影響，且為控制整體能量流動的優勢要素，一般認為，如果某

種要素類型所站的面積超過整個地景的 50%，則此要素則可能是地景中的基質(王素芬，1998)；

(二) 區塊(Patch)：區塊是環境或景觀空間中最小的均質單元，其與基質間的區別為相對性的，區塊被包含於基質中，在外觀上為不同於周圍環境的非線性地表區域。舉例言之，在森林地景中，森林為基質，伐木跡地、濕地、岩石裸露地及碎石坡等均為不同種類之區塊，但是在施行人工皆伐作業之後，由於地景嚴重的破碎化及複雜化，使得原本為地景基質的森林亦變成了區塊之一，整個地景單元變成由許多區塊所組成(吳治達，2004)。

(三) 廊道(Corridor)：廊道為不同兩側環境特性，呈現狹長形線性或帶狀型態，具有運輸、阻隔、分割地景與提供生物棲地的功能，為地景要素中異質性高者(Forman and Godron, 1986)。如：河流、道路、樹籬、圍牆等皆可視為廊道的一種，以河流為例，河流之內在環境與外圍之陸地為完全不同的兩生態體系，河流可作為物質之運輸、魚類生產等作用，更可以阻隔陸地生物之遷徙。

然而地景的空間結構會因不同的生態系統影響而不同，使得區塊(Patch)的面積、形狀和空間關聯隨之改變，且導致物種的族群大小、分佈、延續以及擾動的機率產生變化(Franklin and Forman, 1987)。換言之，由於地景要素受到生物及非生物因子的影響，造成大小、形狀、數量、類型和空間排列的不同，產生不同的地景結構，而在不同時空尺度下的地景結構與地表能量、物種間的流動與交互作用，將導致地景變遷(張啟德等譯，1994；薛怡珍等，2002；葉春國，2006)。

雖然地景生態學上的意義與土地利用變遷的解釋方式不同，但卻有相同的意涵。在探討土地利用變遷的研究時，強調人與環境之間的互動關係，在不同的文化及社會背景、政治經濟發展以及自然環境的限制下，會出現不同的土地

利用型式，這些因素會隨著時間產生改變，最明顯的變遷即表現於空間中土地利用型之變化。土地利用型在空間型態上的變化，與地景生態學中地景結構之生態意義有異曲同工之妙，故將地景生態學的空間度量指標，應用於土地利用變遷的空間分析上，有其適用性。

將地景生態指數應用於土地利用變遷之研究相當多，如鄭祈全(1999)應用地理資訊系統與地景生態指數，探討林業試驗所六龜經營區森林砍伐、林道開闢等因子對於林地地景結構之影響；馮豐隆與黃志成(1997)利用地理資訊系統探討三個時期惠蓀林場土地利用型之地景結構與變化；林裕彬與林怡君(1999)以景觀生態學之理論結合地理資訊系統，探討桃園蘆竹地區之水稻田與旱作、廢耕地之景觀生態空間結構；其他相關農地景觀空間結構或變遷的研究如 Gustafson and Parker (1992)、王素芬(1998)分別以模擬的地景資料和航空照片為材料，利用修正後的碎形維度指數(fractal dimension index)，探討各種經營作業對於地景可能造成的影響情形；Hulshoff(1995)利用地景指標針對荷蘭的五種土地使用類型，比較 1845 年至 1992 年的嵌塊體數目、嵌塊體平均大小、邊界指標等變化情形，並探討指標地適用性。劉少陽(2003)利用 GIS、空間分析及地景結構量化分析花蓮溪口地景之空間佈局，將地景生態學應用於土地利用規劃上，提供未來花蓮溪口水鳥保護區基地內部的規劃及緩衝區的相關建議；林志東(2004)利用地景指標對花蓮北部平原之土地利用型及變化，進行定量分析及吳振發(2006)將土地利用管制概念整合於土地利用模擬模式中，模擬土地利用變遷，並評估景觀生態結構，提出具有景觀生態意義的土地利用與景觀生態管制計劃；Carboni 等人(2009) 分別以地景層級與沙丘植被層級選擇地景指標，包括區塊總數、平均形狀指標、多樣性與均勻度指標評估海岸沙丘保育的程度。

二、地景結構的量化

地景生態學家引用生態學原理，發展出各種量化之地景指數，其意義在於指數值會隨著生態系過去或未來的土地利用管理方式而改變(王素芬，1998)，

然而地景指數種類很多，如何選擇並無一定的規則可循，應視研究的對象以及目標而定(Farina, 2000)。

本研究以衛星影像分類之土地覆蓋型類別作為地景要素之區塊類型，參考前人的研究選出能夠分析整個地景總體性的地景(Landscape)層級生態指標，並應用 McGarigal and Marks 透過 ARC/INFO 地理資訊系統的 AML 指令配合 C 語言，於 2002 年所開發之地景指數量化程式 FRAGSTATS ver.3.3 程式集計算本研究試區 2003 年、2006 年與 2009 年三個時期地景之空間格局(Spatial Patterns)量化的計算，探討研究試區範圍內的整體地景單位所呈現地景結構態樣與變遷情況。將分為面積/密度/邊緣、形狀及多樣性指標三個部分選取，依據 McGarigal et al.(2002)所下的定義加以說明。

(一)面積/密度/邊緣指標(Area/Density/Edge Metrics)

(1)區塊數量(Number of patches ; NP)

$$NP = N \quad (1)$$

N 為地景中的區塊總數。 $NP \geq 1$ ，值無上限，當地景中只有一個區塊時，其值為 1。在相同面積之範圍下，透過 NP 值可以了解地景在空間呈現完整或破碎之程度。當地景愈趨破碎時，區塊總數亦隨之增加；地景結構愈完整，區塊總數相對減少。

(2)地景形狀指數(Landscape Shape Index ; LSI)

$$LSI = \frac{0.25E'}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

E' =地景的總邊緣長度，包含整體地景的邊緣長度與地景中各區塊之邊長(m)， A =總地景面積(m^2)。LSI 值無單位，其值大於等於 1 並無上限。LSI=1 時，代表整個地景僅由單一個正方形區塊所組成。即使研究標的為不同地景尺寸大小或劃定之研究區非現實世界的真實邊緣，地景形狀指數對地景的總

邊緣或邊緣密度有一衡量的標準，相對於總邊緣長度(TE)，因其標準化指數使其能夠直覺的解釋：在相同面積範圍下，地景中區塊數量增加時，總邊緣長度亦增加，LSI 值則越大，代表整個地景異質性愈高，整個地景景觀愈趨破碎；而在同個範圍與同樣種類數之土地覆蓋類別時，LSI 值亦可解釋在整體地景中的各類型區塊體是否具有聚集性。

(二) 形狀指標(Shape Metrics)

$$AWMSI = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{0.25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right] \quad (3)$$

p_{ij} =區塊 ij 的周長(m)， a_{ij} =區塊 ij 的面積(m^2)， A =總地景面積(m^2)。AWMSI ≥ 1 ，值無上限。當值為 1 時，代表區塊形狀愈接近正方形或近正方形，而區塊形狀相對於正方形或近正方形愈不規則時，則值漸增。基於面積較大區塊對於地景較具影響力，採用面積加權後的形狀指數，其為形狀指標再乘以區塊比例豐富度(即區塊面積除以該類型區塊總面積)，並且計算形狀指數之變異數，代表整個地景的區塊形狀其變異之程度。在土地利用與覆蓋景觀空間結構之應用上，形狀指數可反映出一區域受到人為規劃或管理的程度，若一區域土地已經過政府規劃開發或人為的利用(如:建成與工業區、農業區之景觀)，為了便於管理，通常同質性的土地利用會劃分在同一區域內，在地景區塊形狀表現上，相對於原本不受人為干擾之自然地景，區塊形狀應較接近方形並較為一致。

(三) Shannon 多樣性指數(Diversity Metrics)

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i) \quad (4)$$

P_i = i 類型區塊在地景中佔有的面積比例。Shannon 多樣性指標(Shannon's diversity index)可以將物種數量與相對豐富度組合在一起(Peet,

1974)，除了應用在物種多樣性量測方面，目前在土地利用變遷以及森林生態系統經營模式上，都有廣泛的應用。SHDI ≥ 0 ，值無上限範圍。地景中只包含一個區塊類型時，值為 0。值增加時，代表區塊類型數的增加或是區塊類型的面積分佈比例較平均。

進一步了解不同時期土地覆蓋型態變遷差異是否顯著，本研究採用 Magurran(1998)提出的 Shannon 多樣性指數 t 檢定法，在 5% 顯著水準下，檢定蘭陽平原地區在 2003 年至 2006 年以及 2006 年至 2009 年各三年間土地覆蓋型態變化程度是否顯著。當計算 t 值大於查表理論 t 值時，代表二時期間土地覆蓋分佈型態有顯著差異，反之，表示兩時期差異不顯著。有關 t 檢定之關係式如下：

$$VarHi = \frac{\sum_{i=1}^m Pi(\ln Pi)^2 - \left(\sum_{i=1}^m Pi \ln Pi\right)^2}{n_1} + \frac{m_i - 1}{2n_i^2} \quad (5)$$

$$t = \frac{(H_1 - H_2)}{(VarH_1 + VarH_2)^{1/2}} \quad (6)$$

$$d.f. = \frac{(VarH_1 + VarH_2)^2}{(VarH_1)^2 / n_1 + (VarH_2)^2 / n_2} \quad (7)$$

H_1 、 H_2 分別為二個時期的 Shannon 多樣性指數。

$VarHi$ 為第 i 個時期的 Shannon 多樣性指數之變異數。

Pi 為第 i 類區塊體在地景中所佔的面積比例。

m_i 為第 i 期的土地覆蓋類型之個數。

第三節 馬可夫鏈模式

比較土地覆蓋型在長期時間序列資料中之差異，最直接的方法為考量各覆蓋型面積總量的變化。土地覆蓋面積量的大小，反應出人類對於不同影響因子加入或改變的回應。例如：張長義等(1993)研究彰雲海岸敏感區之土地利用變遷時，利用四個年度的土地利用資料，針對 10 種土地利用類型，依據各時期各種土地利用型面積增減的情況，配合當時社會經濟資料，探討當地之土地利用變遷；楊雲龍(1995)研究蘭陽平原環境災害識覺時，以三年度的土地利用資料，針對 16 種土地利用類型，依據各時期土地利用型變化情形，探討其與潛在淹水區之間的關係。

但由於土地利用變遷並非一隨機之過程，亦即某一種土地利用坵塊(Parcel)改變為不同土地類型之趨勢，常具有程度上的差異，並且往往會受到前期土地利用分佈的影響(丁志堅，1997)。然而只比較兩組時間間隔的土地利用型面積之變化，會因初始的土地利用分佈的狀況，以致於計算基線(Base Line)有所不同，而可能導致錯誤的推論(Muller and Middleton, 1994)。故衍伸出利用空間分析計量的方法，整合量與空間型態的度量，將複雜的土地利用變遷資料，轉化為有系統的空間資訊，探索(explore)隱含於複雜空間資料下的空間資訊(丁志堅，1997)。其中馬可夫鏈模式(Markov Chain Model)中所使用的轉移機率矩陣，可以表現所有土地利用可能變化的種類及某一時期的土地利用變遷程度，且為獨立於這個時期的初始土地利用分佈狀況，提供了某一時期土地利用變遷程度的數量指標。

本研究除了以量化地景指標分析三時期變遷的情形外，進一步，利用 2003 年、2006 年與 2009 年三年土地利覆蓋主題圖建立轉移機率矩陣，期藉由馬可夫鏈分析土地覆蓋變遷的情形。以下就分別就馬可夫鏈模式之發展與應用、使用限制、馬可夫鏈模式之數學表示及馬可夫特性之檢定加以介紹。

一、馬可夫鏈模式之發展與應用

馬可夫鏈理論是於 1907 年時由俄國數學家馬可夫所提出，不過當時僅討論有限型的馬可夫鏈模式而已，此後二十多年並沒有太大的發展，在西元 1928 年有限型馬可夫模鏈式用代數方法作廣泛的處理，到 1936 年時更進一步將有限型之模式推廣到無限型，由於馬可夫鏈理論的提出，將靜態的機率推廣成動態，將原有的機率變數擴張成向量函數，時至今日，馬可夫鏈模式已被廣泛的應用在不同的領域(Baker, 1989；吳治達，2004)。

應用馬可夫鏈模式進行土地利用變遷分析方面，Muller 和 Middleton(1994)利用馬可夫鏈模式探討奈及利亞地區農業用地、林地和都市用地三種土地利用類型，在時間序列上數量增減情形，並指出其適用之原因：

1. 任一時期內，區域內之土地利用單元都可能變化成其他土地利用型，因此土地利用變遷方式並非單向之過程，利用馬可夫鏈模式分析，可以完整表現出所有土地利用可能變化的種類情形。
2. 重覆自乘轉移機率矩陣，可得到另一個代表該時期土地利用變遷情形的矩陣，稱為平衡矩陣(Equilibrium Matrix)或初級特徵向量(Primary Eigenvector)，此矩陣不僅可獨立表現出某一時期土地利用分佈情況，亦可用於比較不同時期土地利用的變遷程度。
3. 利用矩陣運算(Matrix-powering)可得到土地利用變遷情形的理論趨勢值，然而這是在假設未來土地利用變遷過程為固定不變之情形下所計算出來的，並不是未來土地利用的真實分佈狀況，只是用以描述這個時期土地利用變遷程度的量化指數。

目前已有許多應用馬可夫鏈模式進行土地利用變遷分析之研究，例如；Boerner et al (1996)以四個年度土地利用資料研究 Ohio 地區，針對四種土地利用類型，以馬可夫模式分析此區內兩個區域之土地利用變遷的狀

況；黃琦聆等(2008)使用四個年度的土地利用調查資料，針對 8 種土地利用型態，應用 GIS 技術，建立各時期土地利用型之轉移機率矩陣與量化地景指標，探討宜蘭地區產業發展的情況；此外，丁志堅(1997)、方琮雅(2001)、廖亞禎(2002)均以馬可夫鏈配合地理資訊系統相關技術，分別探討四鄉鎮及六十九個村、桃園台地與中興大學台中校區之土地利用的變遷情形。

二、馬可夫鏈模式使用上之限制

馬可夫鏈模式雖可用於土地利用型或地景區塊結構之變遷推估，進而模擬預測區域未來土地利用或生態環境的變化情形，然而在使用上仍有其限制。參考吳治達(2004)整合前人文獻(梁蕪善，1985；Turner, 1990；朱子豪，1994；鄭祈全等，2001)之意見以及方琮雅(2004)整理出馬可夫鏈模式在應用上之限制以及注意事項有以下幾點：

1. 由於馬可夫鏈模式係基於區域之轉移機率矩陣進行運算，故面積較小的土地利用類型，即使僅有輕微的改變，其變化仍會影響全區之變遷機率。
2. 馬可夫鏈之運算無法處理新增的土地利用類型，即某一種土地利用型態在前一年度不存在時，則無法定出該利用類型的轉移機率。
3. 相同之地景要素，雖然地點不同，但卻有相同的變遷機率，因此在應用時各網格的變遷機率宜就周圍的影響加以修正。
4. 應先將地形進行分區，使土地利用單元內儘量均質。
5. 各土地利用發展至頂點或底點時，轉移機率會產生結構性變化，因此馬可夫模式僅適用中期發展階段。
6. 利用某一時期組類狀態數量的變化為依據，透過矩陣代數之方法推算未來各時期的連續變化，如果最初演變時期之根據觀察正確，而以後又無新的變動因素加入時，則應用馬可夫鏈模式進行模擬預測

所得之結果可信度將相當可靠；但是若根據的時期並非代表性，之後又有新的因素加入，則對於演變的推估將不準確，所以需要將有新進因素加入的時期做適當的調整，之後才可用以推算將來的演變。

由前人研究可知，馬可夫鏈模式在應用上雖然有其限制，然而只要土地利用變遷過程符合馬可夫特性，且無其它新增的干擾因子時，則應用馬可夫鏈模式預測未來土地利用型面積百分比的變化結果將十分可靠。然而因該模式不能進行點預測，故單使用馬可夫鏈模式並無法表現出未來土地利用型的空間分佈型態，因此若要進一步考慮變遷面積與空間分佈之關係，實有必要結合其它推估方法來進行分析(吳治達，2004)。

三、馬可夫鏈模式之數學表示

假定某一事物(Object)各種狀態(State)的轉變機率，是基於各種狀態的變化狀態，而不考慮時間、先前狀態或因子的影響，則這種推測過程稱為馬可夫過程(Markov Process)，若事物的各種狀態是有限的，則這種馬可夫過程便稱馬可夫鏈(Markov Chain)(Friedberg, Insel and Spence, 1992)。故馬可夫鏈是一種數學機率模式(Stochastic Model)，其原理乃在利用事物狀態演變為各向度的轉移機率(Transition Probability)，推測未來事物分佈的狀態(Hillier and Lieberman, 1995)。由於各種轉變型態式以機率的形式表示，因此其數學表示式為：

$$\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (8)$$

式中 m 為事物的狀態數，第 i 種狀態轉變為各種狀態的總和為 1。而轉移機率是根據某一時期事物各種狀態的分佈求得，其數學表示式為：

$$P_{ij} = n_{ij} / \sum_{j=1}^m n_{ij} \quad (9)$$

式中 P_{ij} 為轉移機率，而 n_{ij} 為事物從狀態 i 轉變為狀態 j 的量。

將事物狀態的所有轉移機率加以整理，以矩陣表示，可得 $m \times m$ 的轉移機率矩陣(Transitional Probability Matrix)。假定 A 為轉變機率矩陣，則：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \text{ 為一 } m \times m \text{ 的矩陣} \quad (10)$$

式中每一列的總和為 1，矩陣內各值均大於或等於 0。根據轉移機率矩陣可得馬可夫鏈的一個重要性質即：

$$L = \lim_{m \rightarrow \infty} P^m \quad (11)$$

L 稱為平衡矩陣 (Equilibrium Matrix) 或會合矩陣 (Convergence Matrix)，當矩陣重複自乘至無限多次後，矩陣內的各個數值將達到穩定，不再變化。利用矩陣運算可將 $m \times m$ 個數值的轉移矩陣轉換為 m 個數值的轉移矩陣，此 m 個數值及為此時期馬可夫鏈模式所得之理論趨勢值，其數學表示式為：

$$Y = P^n x \quad (12)$$

式中 n 為經過的時距期數(Stage)，P 為轉移機率矩陣，x 為第一期該地區各種土地利用或組類之初始狀態向量，Y 為經過 n 期的時間後該地區地景狀態的向量。故利用馬可夫鏈模式的特性，可模擬欲測未來土地利用型態之理論估值，並做為比較各時期土地覆蓋型變化之用。

由於馬可夫鏈模式係假設某一時期類型發生的機率，且隨前一時期所存在的類型而改變，若某一時期所有狀態的發生是獨立的(Independent)，不受前一時期任一狀態的影響，後續發生的狀態則不具有馬可夫特性，便不適合以馬可夫鏈模式進行後續相關研究(林金樹，1996)，因此在應用土

地利用變遷預測前，必須先測定轉移矩陣是否具有馬可夫特性(Markov Property)，才可進行變遷預測(吳治達，2004)。

四、馬可夫特性之檢定

評估轉移矩陣是否具有馬可夫特性，一般利用 Goodman(1968)卡方檢定(χ^2 test)，公式如式(19)，當計算所得之卡方值大於查表理論值時，即代表試區之土地利用變遷情形具有馬可夫特性，故可使用馬可夫鏈模式進行變遷預測。

$$\chi^2 = \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [T_{ij} \times \ln(P_{ij} / A_j)]^2 \right\}; \quad d.f. = (M-1)^2 \quad (13)$$

式中， T_{ij} ：轉移矩陣。

P_{ij} ：轉移矩陣機率。

A_j ：轉移矩陣第 j 行(Column)元素像元數與全地景總像元數之比率。

M：土地利用型之類別數。

d.f.：自由度。

運算結果如具有馬可夫特性時，則兩期間之地景變遷式可以 $n_{t+1} = P \times n_t$ 來表示，式中 n_{t+1} 為後期之地景類型面積， n_t 為前期之地景類型面積，P 為變遷機率。

本研究假設蘭陽平原海岸地區土地覆蓋類型變遷情形為穩定狀態，即各時期之轉移機率矩陣固定不變，且無新增的干擾因素影響下，利用 2003 年至 2006 年之轉移機率矩陣，以 Goodman 法進行卡方檢定馬可夫轉移矩陣，評估是否符合馬可夫特性，卡方檢定之結果若統計卡方值大於查表理論卡方值，則棄卻轉移機率矩陣中每一變量與其對應的獨立變遷量無關之假說，表示兩時期間區塊類型的變遷型為是非獨立的(Not Statistically

Independent), 證明轉移機率矩陣具有馬可夫特性, 則可透過矩陣自乘之計算, 建立馬可夫鏈模式進行預測, 以推估未來各土地覆蓋之區塊面積量; 反之, 計算之統計卡方值小於理論卡方值, 則代表變遷過程屬於隨機且獨立的行為, 轉移矩陣不具馬可夫特性, 則不能使用馬可夫鏈進行土地利用型面積變遷之預測。此外, 考量模式模擬之準確度, 故利用 2003~2006 年土地覆蓋型轉移機率矩陣建立之預測模式, 預測 2009 年之土地覆蓋面積百分比, 將其結果與 2009 年分類結果之土地覆蓋型面積進行比較, 以資檢核。



第四節 氣象資料之處理—一般克利金法

從事氣候資料分析的第一步即蒐集充分的氣象資料，然而氣候會因各地之地理環境、地形、位置等複雜因子產生不同的差異，在現實狀況下，歷史降雨量、風速與風向等資料均由單一或稀疏分散的地面測站得之，無法取得某區域之完整且長時間的連續資料，因此在分析時其困難度亦增加。然而將氣象資料蒐集完成後，須先篩選、剔除錯誤或漏失的資料，做初步的處理為了避免影響後續分析的準確度。接著將分佈不規則測站上的資料內插至規則格點(Grid Point)上，以便做後續分析處理工作(曾忠一，1997)。空間內插有許多種方法，但主要目的均在一區域內，能夠以少數的樣本資料，依據資料的空間變異結構，進而估算出完整之空間分佈。

過去，關於雨量分析及推求面積平均降雨量之研究，多採用徐昇多邊形法(Thiessen Polygon)，此法僅使用簡單的距離線性關係來進行面積降雨量之分析，而忽略了區域降雨之觀念。許多前人文獻皆認為克利金法(Kriging)對於區域降雨量推估為一有效的方法，如：Pardo-Igúzquiza(1998)指出聯合相鄰資料進行空間分析，克利金法之推估結果較徐昇多邊形準確，認為克利金法為無紀錄點為資料推估之標準方法；Goovaerts (2000) 進行徐昇多邊形法，反距離平方法(Inverse Square Distance)，以及一般克利金法(Ordinary Kriging)，和線性迴歸模式(Linear Regression Model)之降雨量推估值比較，結果顯示以克利金法進行分析為最佳結果，並能精確指出空間降雨分佈資料。

陳文福、王仲豪 (2000)以台灣北部地區 34 處雨量站之年平均降雨量資料，應用半變異數模式探討該區域之降雨空間分佈連續性，結果顯示等向性之球面模式最能解釋該區降雨空間連續性分佈。林金樹、陳峰盛(2002)以台灣中南部地區 52 處雨量站在 1999 年之年總降雨量，探討不同半變異模式及參數的影響，結果顯示一般克利金法推估雨量的誤差較低，尤其是

採用非等性(Anisotropic)方法時，其推估誤差為最低；至於採用等向性(Isotropic)方法分析時，則以圓形(Circular)、球形(Spherical)及指數(Exponential)模式此三種模式為佳。故目前有關區域降雨量的推估部份，無論在學術研究或實務領域中皆認為克利金法為最佳的推估模式。

關於風資料內插處理的方法，McNeill(1994)認為克利金法與曲線尺(Spline)內插方式均適於內插處理風場之向量式資料(Wind Fields Vectors)，由於風的動向與空間之變異具高度相關性，其中又以一般克利金法(Ordinary Kriging)最為適合(Inggs and Lord, 1996)，主要因此法考慮了資料的空間結構及其相對距離，在估算的過程中能夠展現出空間隨機變數(Random Variables)之自相關性(Spatial Autocorrelation)。Inggs and Lords (1996)應用一般克利金法內差計算出衛星無法直接獲取之垂直地面上的風場資料，結果顯示利用球狀半變異圖模式(Spherical Semi-variogram Model)較指數型半變異元模式(Exponential Semi-variogram Model)得到較好的成果。Shoji(2006)嘗試以關東平原(Plain Kanto)與中部山地(Mountainous Chubu)作為研究區，計算風速與風向之空間與時間之變異數圖(Variogram)，並比較其變化。除此之外，一般克利金法已成功地被廣泛應用於各領域的空間資料分析，包含了土壤、地質、礦業、降雨量、水文模式、環境和生態等研究領域之中。故本研究應用 ArcGIS 地理統計模組(Geostatistical Analyst)之一般克利金(Ordinary Kriging)法。

進一步，考慮到本研究取得之降水量與風速風向資料為每月平均之資料，而後續研究係建立 2003 年至 2006 年沙質海岸 Logit 空間分析之模式，使用分析之研究材料分別為 2003 年 6 月、2006 年 4 月衛星影像分類所獲得五種土地覆蓋型之結果，屬於一斷面時間的資料，故在氣象資料分析上須搭配衛星影像之時段，整理出代表 2003 年 6 月至 2006 年 3 月(共 34 個月)之氣象資訊。進一步，利用地面 11 個氣象站整理好的氣象資料，推估

本研究區之短期間內的降雨量、風速與風向於空間上分佈之情形，以供後續建立沙丘變遷機率模式之自然環境因子所用。以下分別就資料處理流程與其相關理論說明與介紹，包含氣象資料的預處理、地理統計理論與一般克利金推估法。

一、氣象資料的預處理

在降水量資料方面，先剔除有錯誤與遺漏之資料後，扣掉無資料之月數，加總每月降水量及算數平均得之 11 個測站兩段時期之月平均降水量資料，供後續利用一般克利金法推估此區域之降水量；在風的資料方面，由於本區位於季風氣候區，冬季十二月至隔年二月盛行東北季風，夏季每年六月至八月盛行西南季風(張長義等，1991；張政亮，1992；宜蘭縣政府全球資訊網，2009)，顧慮每季之盛行風的關係，故將月份資料依季節分為四季；春季為三月至五月、夏季為六月至八月、秋季為九月至十一月以及冬季為十二月至二月。

另外，由於 ArcGIS 軟體的空間內插運算是以線性(Linear)的方式計算，如下圖 2-3 所示，數學理論之角度的增量是以 X 軸為起始，逆時針方向旋轉增加，而以一般地理現象之風向資料角度，是自北方 Y 軸以順時針方向旋轉，因旋轉方向的不同，故在此軟體上處理或進行運算時，以避免計算時的困擾與混淆，須先將度數轉換為徑度(Radian)(William, 2009)，故將取得之風向資料由度數轉換成徑度表示。

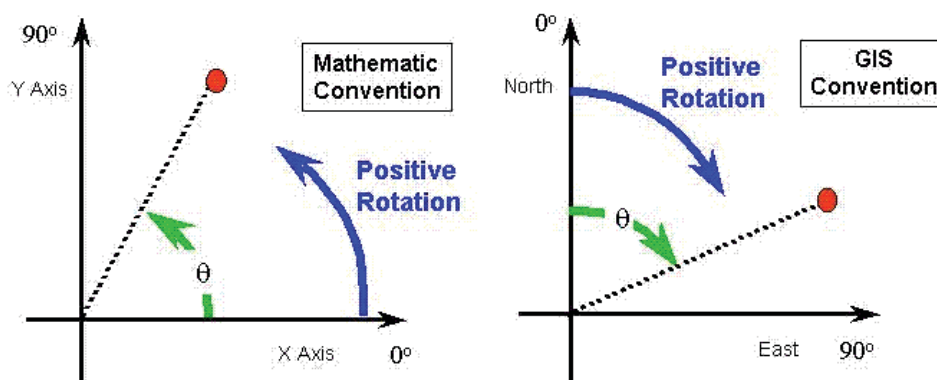


圖 2-3 數學上與 GIS 中對於角度表示之示意圖(William, 2009)

而氣象局得到的風速風向資料單純為空氣水平運動的數值，須將風速與風向資料轉換成可在空間中表達向量式資料，利用幾何學原理，將風的水平分量分解成 X 方向與 Y 方向的分量(EPA, 2000; William, 2010; Shen 等人, 2008)：

$$X_i = v_i \cdot \sin \theta_i \quad (14)$$

$$Y_i = v_i \cdot \cos \theta_i \quad (15)$$

上式中， v_i 與 θ_i 分別為第 i 筆取得之風速值與風向值。

先將欲平均之數期風速風向資料各別計算其 X 與 Y 分量，接著分別加總欲平均之 X 分量與 Y 分量並取平均之 X 與 Y 分量：

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (16)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (17)$$

將 X 與 Y 方向分量的平均值 \bar{X} 與 \bar{Y} 合成後得之平均時間內的平均風速 \bar{v} ，式(18)所示；以及平均風向 α ，如式(19)。

$$\bar{v} = \sqrt{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \quad (18)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{\bar{Y}} \quad (19)$$

而利用上式計算分別得到 11 個測站 2003 年至 2006 年期間的四季之平均風速值與平均風向值，作為後續克利金推估之資料。而按照風向順時針旋轉的規定，可由以下幾種情況來確定平均風向的 α 角(Shen 等人, 2008)：

(1) $\bar{X} = 0$ ， $\bar{Y} > 0$ ； $\alpha = 0^\circ$ ，為北方。

(2) $\bar{X} = 0$ ， $\bar{Y} < 0$ ； $\alpha = 180^\circ$ ，為南方。

(3) $\bar{X} > 0, \bar{Y} = 0; \alpha = +\infty$ ，為東方。

(4) $\bar{X} < 0, \bar{Y} = 0; \alpha = -\infty$ ，為西方。

(5) $\bar{X} > 0, \bar{Y} > 0$ ；按 $\alpha = \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{\bar{Y}}$ 確定角度。

(6) $\bar{X} > 0, \bar{Y} < 0; \alpha = 180^\circ - \left| \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{\bar{Y}} \right|$ 。

(7) $\bar{X} < 0, \bar{Y} < 0; \alpha = 180^\circ + \left| \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{\bar{Y}} \right|$ 。

(8) $\bar{X} < 0, \bar{Y} > 0; \alpha = 360^\circ - \left| \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{\bar{Y}} \right|$ 。

二、地理統計原理

地理統計的概念最早由南非礦業工程師 Daniel G. Krige 與 Herbert Sichel 探勘威瓦特斯雷德(Witwatersrand)地區的金礦提出的。法國地質學家 Matheron 教授將 Krige 等人之工作經驗加以整理後，提出了區域化變數理論(The Theory of Regionalized Variables)，成為現今地理統計的理論基礎，為了紀念 Krige 對礦業發展的貢獻，Matheron 將此估計方法稱為克利金法(Kriging Method)。

地球上諸多自然現象均具有時間與空間上的物理量變異的情形，如：降雨、氣溫與地質等組成，此種變異常用隨機變數(Random Variable)來描述，當變數在空間分佈上不同位置之各隨機變數並非獨立，而具有不同程度的相關性(Correlation)時，則這些隨機變數所代表的物理量稱為區域化變數(Regionalized Variables)，而在區域變數理論中，以半變異元(Semi-variogram)作為空間相關性之量化表示的方式。地理統計即以區域化變數為基礎，利用半變異元(Semi-variogram)或變異元(Variogram)表現描述資料之空間變異程度，並根據變異圖所表現的空間資料相關程度對未知點之位置做最佳線性無偏的估計(Best Linear Unbiased Estimation, BLUE)，並

且須先符合下列之基本假設(林裕彬，2001)：

- (1) 二階定常性(Second-order Stationary)：若一隨機變量域之期望值、變異數與共變異數滿足下列條件，稱為二階定常性。

期望值： $E[Z(x)] = \mu$ ，為常數

變異數： $Var[Z(x)] = \sigma^2$ ，為常數

共變異數：

$$Cov[Z(x), Z(x+h)] = E\{[Z(x) - \mu][Z(x+h) - \mu]\} = Cov(h),$$

$$h = |x_i - x_j| \quad (20)$$

上式代表，空間中任意兩個位置之隨機變數 $Z(x)$ 與 $Z(x+h)$ 的共變異數(Covariance)，只與其兩點之相對距離 h 有關，與其個別位置無相關。

- (2) 內在假設(Intrinsic Hypothesis)：定常性假設變異數函數必須存在而變異函數應為有限值，但實際上許多物理現象並無法滿足其假設。故提出內在假設，即在不同位置的兩隨機變數 $Z(x)$ 與 $Z(x+h)$ 之差為一隨機變數，且期望值與變異數只與隨機變數間的距離有關，但與位置無關，即符合下列式子(14)與(15)：

- ① 空間中任意兩個位置之隨機變數 $Z(x)$ 與 $Z(x+h)$ ，其差值期望為兩個點間的函數。

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = m(h) \quad (21)$$

- ② 空間中任意兩個位置之隨機變數 $Z(x)$ 與 $Z(x+h)$ 的變異函數，與位置無關，等於兩倍的半變異元函數

(Semi-variogram)。

$$\text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h) \quad (22)$$

$\gamma(h)$ ：半變異元函數(Semi-variogram)，或稱半變異數(Semivariance)，僅為距離 h 之函數。

而半變異元函數之決定為地理統計分析之第一個重要步驟，區域化變數可依特定方向但不同位置間的隨機函數之差的變異程度來表示，其定義如下式：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[(Z(x+h) - Z(x))^2] \quad (23)$$

式中 $Z(x)$ 為在點 x 之觀測值， $Z(x+h)$ 為點 $x+h$ 之觀測值， h 為點 x 與點 $x+h$ 之距離。

而在計算上，由 $Z(x)$ 隨機變數之觀測值所計算得之半變異元稱為試驗半變異元(Experimental Semivariogram)，是用求 $[Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2$ 之算術平均值方法計算試驗半變異元函數 $\gamma(h)$ ：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (24)$$

其中， $Z(x_i)$ ：位於 x 點之觀測值。

$Z(x_i + h)$ ：位於 $x+h$ 之觀測值。

h ：平均距離。

$N(h)$ ：配對數。

由上述計算式，可將觀測點的距離區分等級，並在各等級之間距範圍中，求得觀測點之平均距離(h)、半變異元 $\gamma(h)$ 之值與配對數 $N(h)$ 。利用各等級之平均距離(h)與半變異元之值 $\gamma(h)$ 繪成試驗半變異元(Experimental

Semivariogram)。一般典型半變異元圖(如圖 3-4)具有三個重要參數，分別為：

1. 閾值(Sill)：當觀測值之間距離愈大，則其相關性愈小，半變異元 $\gamma(h)$ 會愈大，當平均距離達到某一種程度時，半變異元就會緩慢增加，最後逼近一定值，此值稱為閾值。
2. 影響範圍(Range)：在半變異圖中，閾值所對應的距離則稱為影響範圍，表示在此範圍外資料之間將無相關性。
3. 碎塊效應(Nugget Effect)：半變異元函數具有連續的性質，即在理論上變異元值與其空間距離的關係為：當 $h=0$ 時其變異元值 $\gamma(h)$ 亦為零。換言之，變異元曲線可延伸至坐標的原點，當距離 h 趨近於零時， $\gamma(h)$ 並不一定會等於零，而是為一定值，在微小距離內有極大變異之現象，則稱為碎塊效應。其原因可能為量測誤差或是缺乏間距較短之配對觀測值所造成的(蕭正凱，2009；Johnston et al., 2003)。當碎塊效應發生時，半變異元之閾值，則為部分閾值(Partial Sill)與碎塊效應之總合變異量。

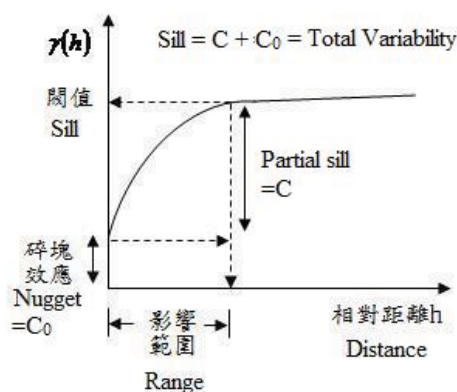


圖 3-4 典型半變異元圖

半變異函數係為地理統計學中用以分析區域化變數空間變異情形的方法，同時也是進行克利金分析時之必要的輸入函數，故為克利金分析之核心。將半變異函數值與資料點間之距離 h 展繪成圖，即為半變異函數圖 (Semivariogram)，實為離散型態之折線圖。但在後續應用於克利金分析時是需以連續性的模式，做為輸入函數，故發展一些理論擬合(Fitting)模式，以擬合觀測資料所計算的試驗半變異元函數，藉以瞭解研究資料或區域化變數在空間中變化之趨勢與特性，以及後續克利金推估未知點之分析用，這些模式即稱為半變異函數模式。地理統計學中常用的半變異函數模式有許多種，以下為常用之球狀模式與指數模式：

1. 球狀模式(Spherical Model)：

空間中隨機之兩位置點，隨著其相對距離增加時，空間自相關性 (Spatial Autocorrelation) 會逐漸減少，而到達與超過某一距離時，兩點之空間自相關性消失不存在及為零(Johnston et al., 2001)，其數學式表示為：

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left[\frac{3h}{2l} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{l} \right)^3 \right], & 0 \leq h \leq l \\ C, & h > l \end{cases} \quad (25)$$

C 為部分閾值(Partial Sill)， h 為距離， l 為影響範圍(Range) 大於或等於零。

2. 指數模式(Exponential Model)：

空間中兩位置點相對之距離增加，空間自相關性則呈現指數型的遞減，直到距離於無窮遠時，兩點之空間自相關性才不存在 (Johnston et al., 2001)，其數學表示為：

$$\gamma(h) = \left\{ C \left[1 - \exp\left(-3\frac{h}{l}\right) \right] \right\}, \text{ for all } h \quad (26)$$

同上式， C 為部分閾值(Partial Sill)， h 為距離， l 為影響範圍(Range)大於或等於零。

三、一般克利金推估法

在 ERSI ArcGIS 之地理統計(Geostatistics)系統中為假設已知之位置變數，為區域化變數(Regionalized Variable)，為分佈在一個連續空間的隨機域中，藉由建構適切半變異函數模式(Semivariogram)，描述分佈於不同位置之區域化變數的空間相關性(Spatial Correlation)，再進行區域中任意地點(或區塊)變數值的推估，即進行空間預測(Spatial Prediction)作業。從統計觀點而言，一般克利金推估法(Ordinary Kriging)具最佳線性不偏推估(Best Linear Unbiased Estimator, BLUE)之特性，所謂 BLUE 是指在推估時，假設沒有觀測量的待估計值為周圍已知觀測值的線性組合：

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i), \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (27)$$

其中， $Z^*(x_0)$ ：為 $Z(x_0)$ 的推估值。

$Z(x_i)$ ：隨機變數 $Z(x)$ 在 x_i 點上之觀測值。

λ_i ：對應 $Z(x_i)$ 之權重。

根據不偏估(Unbiased)特性，即估計值之期望值等於隨機變數之期望值，而一般克利金法為應用二階定常性假設之區域變數，故隨機變數之期望值為一定值：

$$E[Z^*(x_0)] = E[Z(x_0)] = \text{const.} \quad (28)$$

且符合最佳化(Optimal)條件，即估計值與觀測值之變異數為最小之條件如下式：

$$\min \left\{ \text{Var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)] \right\} = E \left\{ [Z^*(x_0) - Z(x_0)]^2 \right\} \quad (29)$$

為求得最佳化之推估結果，將式(20)帶入式(22)，並且為了同時滿足最佳化及不偏估兩特性，並引入拉格蘭茲參數(Lagrange Multiplier) μ ，使其為最小，上述以矩陣形式表示為：

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ \vdots \\ \gamma_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

γ_{ij} : $\gamma(x_i - x_j)$ ，其中 $x_i - x_j = h$ 為兩觀測值之空間距離。

$|\gamma_{ij}|$: 觀測之已知點 x_i 與已知點 x_j 之相關特性，即為兩點所計算之半變異數。

$|\gamma_{i0}|$: 觀測之已知點 x_i 與推估點 x_0 之相關特性。

$|\lambda_i|$: 為權重係數。

將上式(30)解出 λ_i 權重係數後再代回式(27)以求得 $Z(x_0)$ 之推估值 $Z^*(x_0)$ 。

本研究將氣象資料預處理後，參考前人之文獻，以一般克利金法，利用球狀模式擬合本研究區域中氣象測站之降水量、風速與風向資料，其推估之成果即 2003 年至 2006 年之本研究區域之空間降水分佈圖、風速空間分佈圖與風向空間分佈圖，以供後續沙丘海岸變遷之空間分析使用。

第五節 地景變遷之空間模式分析

由地景指標與馬可夫轉移矩陣了解三個時期土地覆蓋型區塊空間分佈與面積變化的情形後，進一步利用 SAS 統計軟體作為本節地景變遷空間模式分析之工具。首先，利用二項式 Logit 模式(Binomial Logit Model)探討土地覆蓋型變化與海岸變遷之關係。進一步，本研究由前人文獻蒐集與整理出影響土地覆蓋型與蘭陽平原沙丘海岸變遷相關之自然環境因子(包含：高程、坡度、四季之風速與風向及平均降水量)與人為環境因子(包含距水體距離、距堤防遠近、距海岸保安林遠近與距道路遠近)，分析 2003 年至 2006 年沙丘性海岸變遷與其自然與人為環境的關係，並建立沙丘海岸與環境因子之變遷機率模式，計算沙丘海岸空間分佈之機率圖，以推估沙丘性海岸空間分佈之情形，並與 2006 年及 2009 年之土地覆蓋型圖進行套疊分析(Overlay Analysis)，比較兩者在空間分佈位置的差異，進而驗證模式預測結果之正確性。以下介紹本研究使用二項式 Logit 模式的理論與應用以及敘明分析之步驟與方式。

一、Logit 迴歸模式之原理與應用

由於本研究欲處理之土地覆蓋變遷模式，在本質上屬於間斷性的離散模式，因此採用可以建構自變項對離散型應變項迴歸模型的邏輯迴歸統計方法。在現實生活中，許多決策過程均包含著二分式(分立式)的選擇行為，例如選舉的投票行為、購買房屋、投資決策等，其決策的結果，必定是選擇「要」或「不要」，而沒有所謂「要 0.75」的決策結果，面對這些應變數為不連續變數的分立迴歸模式(Discrete Regression Model)，主要在探討決策行為與其相關解釋變數間的關係，進而計算其發生機率，而二項式 Logit 迴歸分析即為用於推測此類應變數發生機率的分立迴歸方法(Maddala, 1983；吳治達，2004)。

所謂二項式 Logit 迴歸分析，是用來作為多變量模型參數估計的一種

統計分析方式，可以用來建構自變項為連續或類別變項，而應變項為類別變項的離散模式。由於二項式 Logit 迴歸分析所處理之應變數屬於類別變數，因此常被應用於行為科學的研究上，而且也因其多變量的本質及容易操作解釋之特性，所以亦是在社會科學研究領域裡，最常被採用的方法之一(Bents and Merunka, 2000)。此法在很多社會科學的文獻中都有被討論到(Menard, 1995)，這是因為 Logit 迴歸分析不僅能解決非線性相關之問題，而且當應變數為定性資料時亦能合理的加以解釋；例如 Schulman et al.(1994)以美國北卡羅來那州為研究試區，利用二項式 Logit 迴歸模式以探討當農業政策改變時，農地經營者是否依然願意繼續從事農作或是轉業。

假設 X 為一組因變數的向量 (Vector)， p 為二元因變數 Y 的機率，也就是 $p = \text{Prob}(Y = 1 | X)$ ， $Y = 0$ 時， P 表示事件沒有出現的機率， $Y = 1$ 時， P 表示事件出現的機率，則二項式 Logit 迴歸的線性表示式可以對數發生比加以表示為：

$$\text{logit}(p) = \log \left[\frac{p}{1-p} \right] = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots B_n X_n \quad (31)$$

其中 B_0 表示截距， B_n 表示各個解釋變數之係數值，亦即其對應變數的影響程度。經由數學轉換之後，可以得到事件機率的表示式為：

$$P = \frac{e^{B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots B_n X_n}}{1 + e^{B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots B_n X_n}} \quad (32)$$

當因變數只有兩類時，可將式(32)簡化成式(33)之二項式 Logit 模式 (Binomial Logit model)：

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad , \text{ 而 } Z \text{ 為自變數的線性組合：} \quad (33)$$

$$Z = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots B_n X_n \quad (34)$$

從式(34)可以得知，Z 的值域為所有實數，然經過式(33)邏輯轉換之後，P 的值域將界於 0 與 1 之間的實數，也就是事物出現的機率。如圖 3-5 表示 Z 從 -3 至 3 之間所對應的機率值。

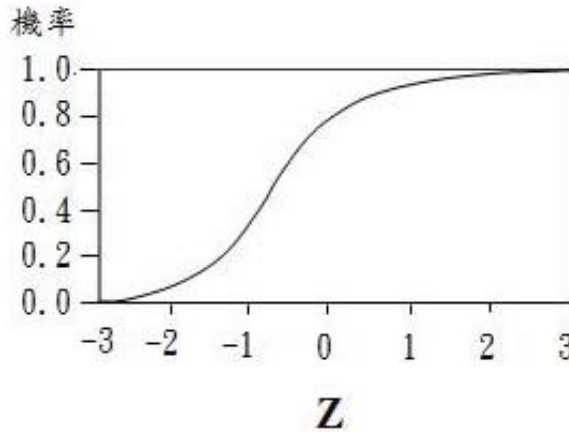


圖 3-5 Logit 迴歸曲線圖

在線性迴歸當中，用來估計模式參數的方法為最小平方法(Least-square Method)，由於 Logit 迴歸模式的應變數為類別變數，因此使用最大概似法(Maximum Likelihood Method)求算各參數之估值，也就是求取一組參數使得式(35)中的 Λ 值為最大(丁志堅，2002)。

$$\Lambda = \prod_{i=1}^{n_1} \frac{e^z}{1 + e^z} \prod_{i=n_1+1}^n \frac{1}{1 + e^z} \quad (35)$$

至於模型中之各個解釋變數對應變數所產生之影響，必須檢定其是來自於本質上的影響或純然只是樣本之機率誤差，此可透過統計值 Wald χ^2 進行檢定，而在 P 值法之估計時，一般在土地利用變遷研究上，都以 0.05 或 0.01 做為是否可拒絕解釋變數對應變數不具解釋能力之虛無假設的顯著水準(丁志堅，2002；王濟川、郭志剛，2008)。

為檢驗模式之整體適合度(Goodness of Fit)，可利用對數概似率(Log-Likelihood；-2 LogL)來探討模式中所有參數對應變數變異性的聯合解釋能

力。對數概似率之公式如式(36)：

$$-2 \text{Log}L = -2 \times [L(B) - L(0)] ; \quad \text{d.f.} = n-1 \quad (36)$$

上式中， $L(0)$ 表示不含解釋變數時模式概似度取對數之值，而 $L(B)$ 表示所有解釋變數均引入模式後，模式概似度取對數之值， n 等於解釋變數之個數；利用對數概似率進行自由度等於 $n-1$ 之卡方檢定，檢定結果如大於理論卡方值時，表示模式愈優秀，可有效解釋應變數之變異情形，反之，若卡方檢定結果小於理論卡方值，表示模式對應變數之解釋能力不佳。

Logit 模式是一種分立選擇(Discrete Choices)的機率模式，認為決策者係根據效用之大小從而決定其選擇，因此如果能掌握影響效用大小之因子，便可從而分析做出各個選擇的可能機率(Ben-Akiva and Lerman, 1985)。從經濟學的觀點來看，Logit 模式的觀念與地租理論相符，合乎土地利用經濟原理(Brook, 1987)，因此經常被應用於土地利用變遷分析(吳治達, 2004)。例如 McMillen(1989)曾以 Logit 模式分析都市邊緣之土地利用；Hsu(1996)曾以 Logit 模式來探討美國印地安那州近郊之集水區。在都市擴展過程中土地利用變遷的機率與影響因子。

Dale *et al.*(1993)曾就巴西 Rodonia 地區林地被被屯墾的情形分析不同林地特性對吸引墾民屯墾的影響力，在其研究中提出了二項重要的意涵：

1. 透過 Logit 模式能有效的將自變數與應變數間的迴歸關係以機率的方式顯示出來。
2. 透過此法，我們可以進一步探討人為因素與自然環境變遷的互動情形。

在國內相關研究方面，陳奕庭(1996)透過成本效益分析的角度來探討坡地開發的主要影響因子，引入阿隆索的競租函數理論，配合遙測影像分類技術及地理資訊系統之空間分析功能，將難以量化的成本、效益因子，

藉由海拔高、坡度、距道路距離、距市集距離等因子加以代替，並以 Logit 模式分析阿里山地區山坡地土地開發與未開發兩種利用型態之判別模式，進一步推估區域中各地點之潛在開發機率值。

蔡博文、張長義等（2001）除運用空間自相關分析養殖土地利用變遷研究，顯示宜蘭地區養殖土地利用原來主要集中於北部的竹安溪與中部的冬山河河口一帶，發展主要沿著海岸線擴張，並利用 Logit 迴歸模式檢定其與淹水區、與海岸線和與河道的鄰近度。結果顯示養殖漁業與淹水區的鄰近度於 1982、1988、1994 年均呈現顯著現象，因早期淹水不退、無法從事農作，便發展養殖業。海岸線的鄰近度於 1982 至 1988 年驟增，因該時段養殖漁業以鹹水養殖為主；而與河流的鄰近度則無顯著差異，表示河流取水並非宜蘭養殖的淡水取水方式，地下水才是主要的淡水來源。

丁志堅（2002）為探討屏東平原過去三十年稻作、旱作及水產養殖等三種土地利用方式間之變化情形，透過文獻分析及質化訪談的方法進行年齡、教育程度、初始土地利用型等個體決定因子之資料蒐集，結合地理資訊系統技術所得之距海遠近、距城鎮遠近、距河遠近等環境決定因子資料，利用二項式 Logit 迴歸分析，建立數理模式以解釋屏東平原的土地利用變遷機制。

許立達和鄭祈全(2002)以高雄縣六龜地區為研究區域，蒐集當地土地利用之歷史變遷與環境及社會經濟等資料建立地理資料庫，並以 Logit 模式分析林地變遷的影響因子。比較六龜地區 1977 及 1994 年土地利用的情況，發現期間之主要變遷為農地回復為林地，但亦有少部份林地被轉變成為農地，並於研究結果中指出海拔低、坡度平緩、距道路近的地區較容易被開發為農地，而村中的農牧戶數愈多，林地被開發的可能性也更高。反之，海拔高、坡度陡的農地較容易被放棄農用而回復為林地，而村中農牧人口數少，農地回復為林地的可能性也更高。

陳癸月(2003)比較 1960 年與 1997 年兩時期蘭陽平原海岸地區土地利用圖，將土地利用類型分為水田、魚塭、旱作地、聚落及林地，藉由環域分析將研究區對於海岸線分別做 1~5 公里五個等級之範圍，並將海岸線分成 15 個等分，計算每個等分區塊內的各項土地利用面積為解釋變數，而兩實其海岸堆積或侵蝕為應變數，進行 Logit 迴歸分析探討土地利用型與海岸變遷的關係，結果顯示，魚塭在距海岸 1 至 2 公里內，和海岸線變遷呈現魚塭面積越大、海岸侵蝕狀況越明顯的顯著相關；而沿海聚落在 2~3 公里內和海岸變遷迴歸式亦具顯著性，即聚落面積越大，侵蝕狀況越明顯，主要原因為濱海公路的建設，使得聚落隨之發展。

整合前人研究可知，Logit 迴歸分析可建構解釋變數為連續或類別變數，而應變數為類別變數的分立模式，應用於土地變遷模式時，研究者可利用一系列解釋土地利用變遷的解釋變數，經由樣本資料的推估計算來建構模式，再利用模式求得特定解釋變數影響下，土地利用型變化為某一類型的機率（丁志堅，2002）。本研究利用 Logit 迴歸分析，探討土地覆蓋變化與海岸變遷的關係，進一步建立沙丘性海岸空間與環境因子之空間變遷機率模式，最後以 2006 年與 2009 年土地覆蓋圖驗證此宜蘭沿海地區沙丘性海岸空間模式的正確性。

二、探討土地覆蓋與海岸變遷之關係

由於人為抽取地下水、道路、聚落的發展、河岸工程的建設等土地使用型態的改變，造成地下水入減少與下降，造成河川逕流量減少與輸沙能力降低，進而導致海岸侵蝕而消退(陳癸月，2003)後退現象發生。因此本研究利用二項式 Logit 迴歸模式，以分析區域之土地覆蓋的變遷對沙丘海岸之影響效應。

由於不同時期土地覆蓋型的變化直接的影響即為各土地覆蓋型面積的改變，故參考陳癸月(2003)之作法，以 2003 年至 2006 年之土地分類資料

為例，將研究區以約 1.037 公里為距離範圍劃分成 20 個區塊，如圖 3-6 所示。

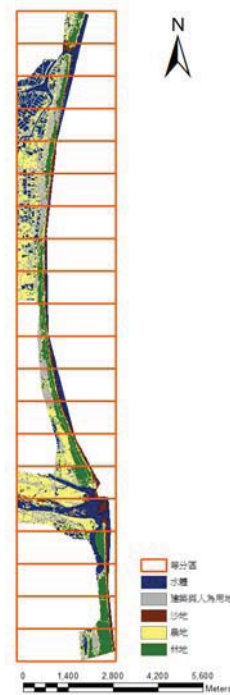


圖 3-6 研究區分割示意圖

統計兩時期每一區塊範圍之各項土地覆蓋面積百分比相差量(如：2003 年水體面積減去 2006 年水體面積)，代表林地、建成與交通用地、水體及農地等 4 種土地覆蓋型變化的程度做為分析之自變數，而兩時期間沙質海岸侵蝕或堆積做為應變數，進行 Logit 迴歸分析，探討土地覆蓋型變化對本區沙質海岸變遷的關係。此分析之變數的度量與編碼方式如下表 3-1：

表 3-1 土地覆蓋型變化對於海岸變遷分析之變項的度量與編碼方式

	度量方式	編碼方式 / 單位
應變項	類別變數	1 = 海岸堆積
海岸堆積或後退		0 = 海岸後退
自變項(2003 年至 2006 年)		(像元解析度為 10m×10m)
林地面積變化量	連續變數	像元數
農地面積變化量	連續變數	像元數

水體面積變化量

連續變數

像元數

建成與交通用地面積變化量

連續變數

像元數

三、建立沙丘海岸與環境因子空間變遷機率模式

Logit 迴歸分析能將應變數與解釋變數間之迴歸關係，透過機率的方式加以表示，而在土地利用型及地景變遷的應用上，機率值之大小即為區域中各點發生變遷的可能性。

為推估宜蘭海岸地區各地點轉變為沙丘之空間變遷機率，以 2003 年至 2006 年間之土地覆蓋型是否轉變為沙地類別之比較結果做為應變數，以樣本點位的海拔高、坡度、距道路、河流、堤防與海岸保安林之距離與降水量、四季之風速、四季之風向等十五項地形、環境及氣候因子等空間資訊做為解釋變數，如圖 3-7 至 3-21 所示。

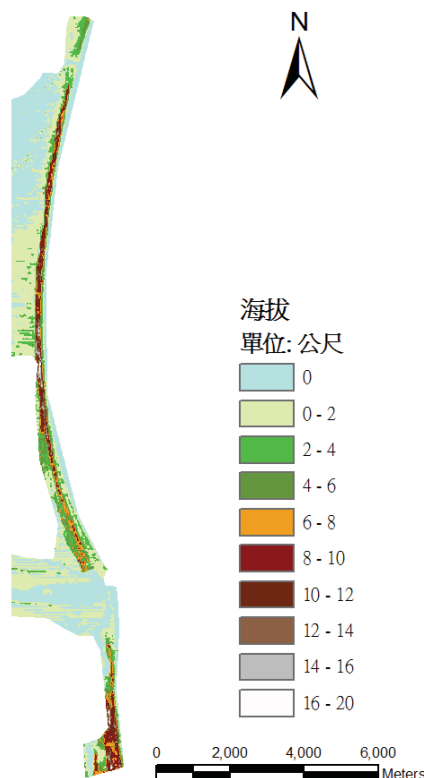


圖 3-7 海拔高圖

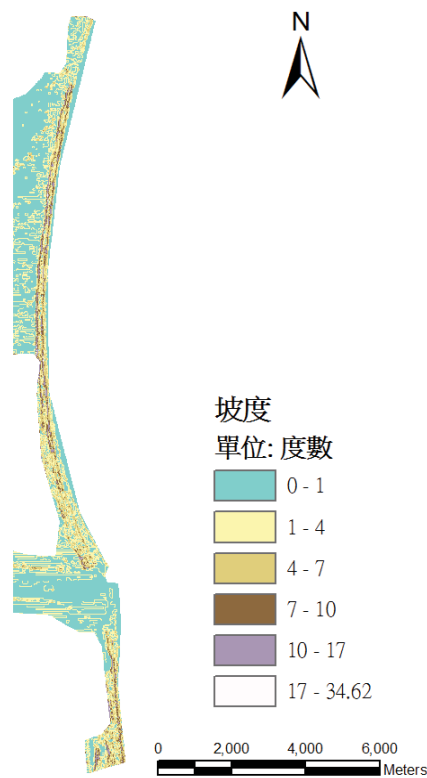


圖 3-8 坡度圖

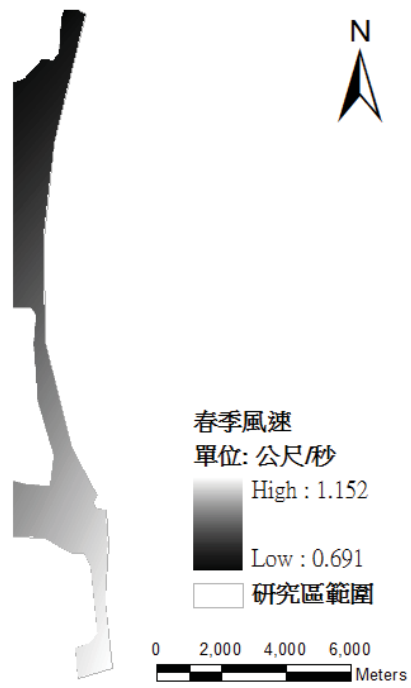


圖 3-9 春季風速分佈圖

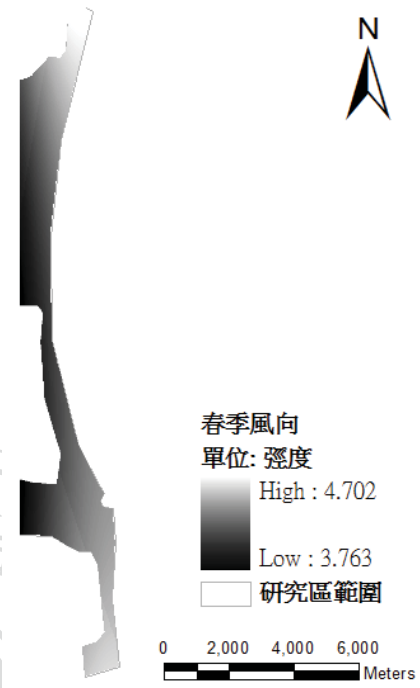


圖 3-10 春季風向分佈圖

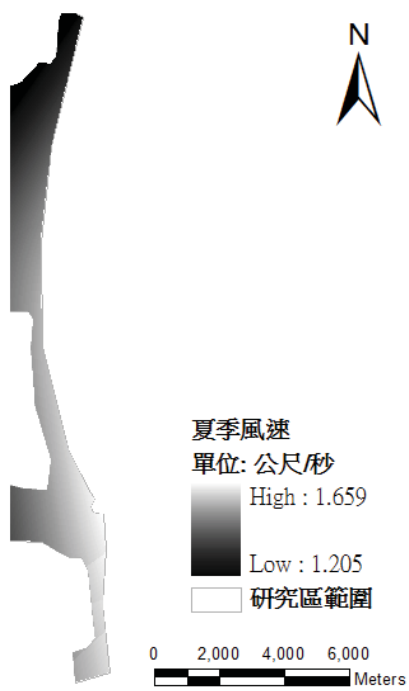


圖 3-11 夏季風速分佈圖

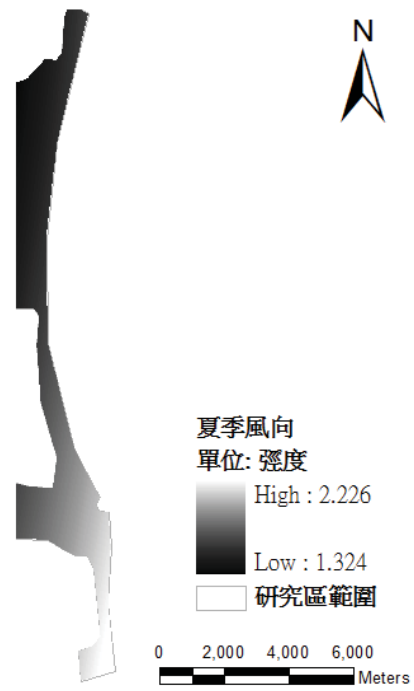


圖 3-12 夏季風向分佈圖

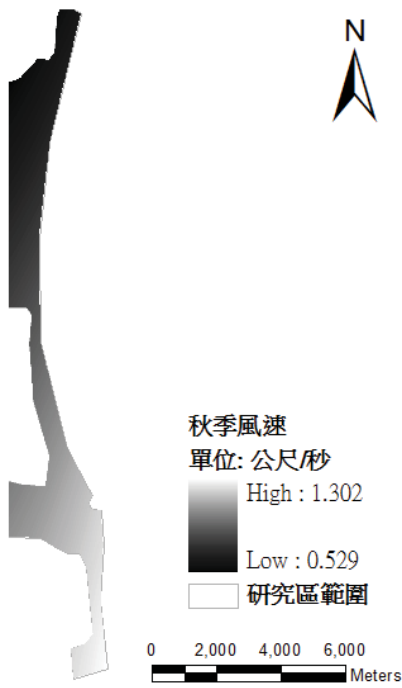


圖 3-13 秋季風速分佈圖

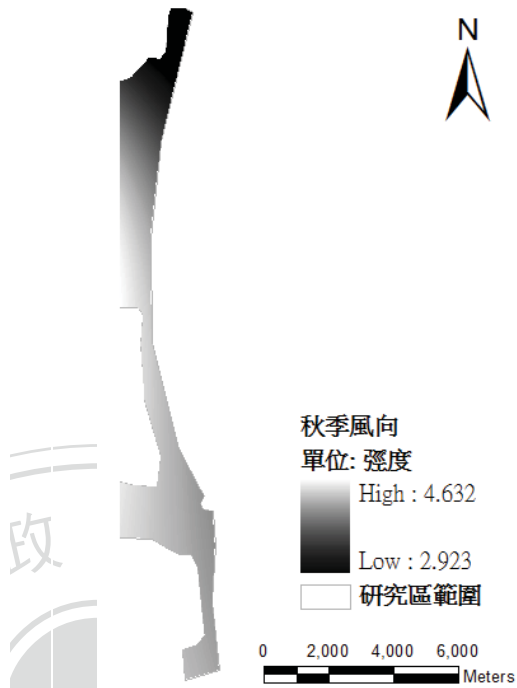


圖 3-14 秋季風向分佈圖

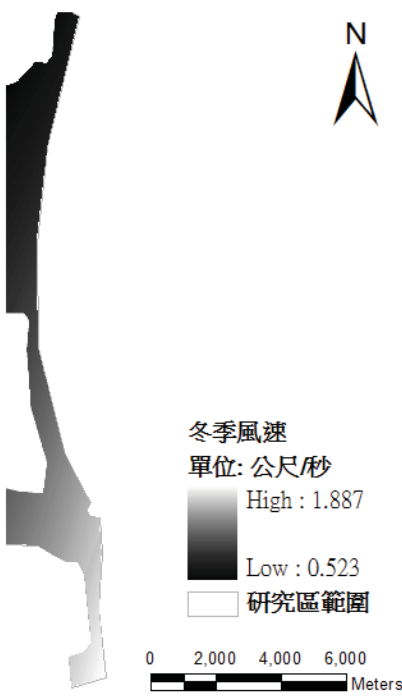


圖 3-15 冬季風速分佈圖



圖 3-16 冬季風向分佈圖

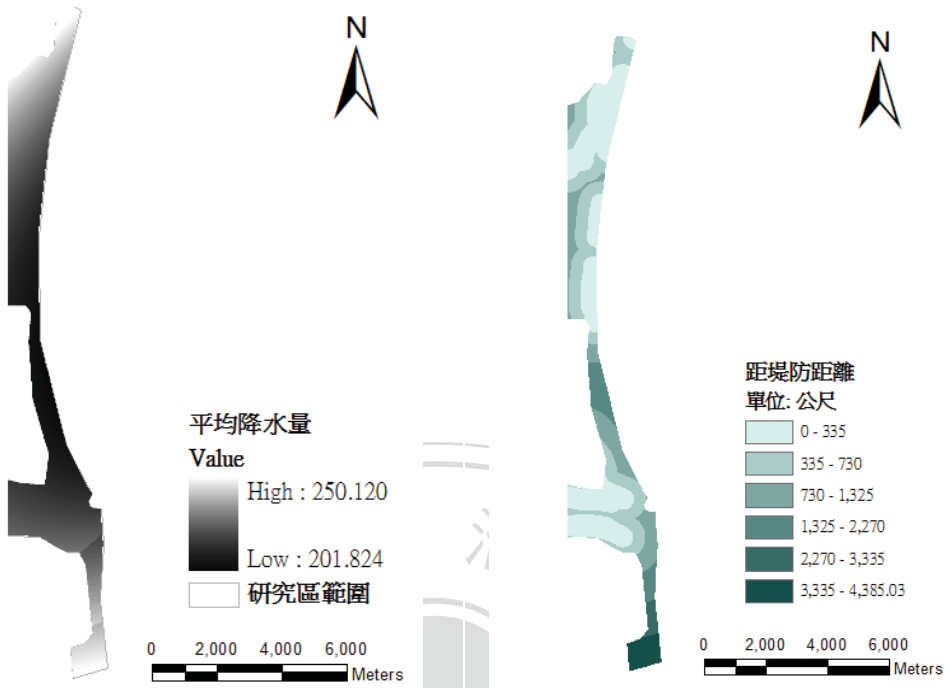


圖 3-17 平均降水量分佈圖

圖 3-18 堤防距離圖

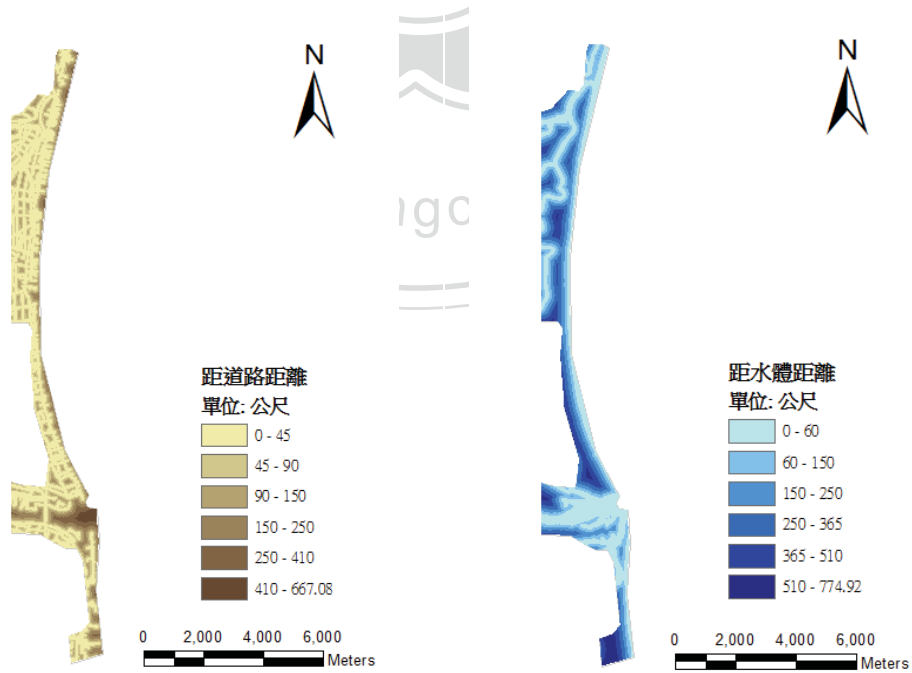


圖 3-19 道路距離圖

圖 3-20 河流距離圖

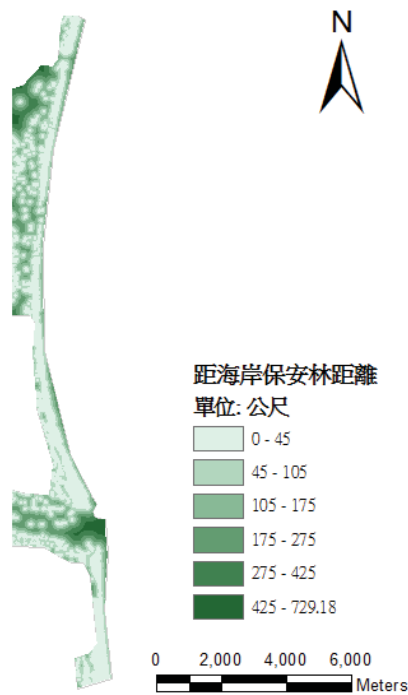


圖 3-21 海岸保安林距離圖

利用二項式 Logit 迴歸分析建立宜蘭海岸地區之沙丘性海岸變遷機率模式，並整合地理資訊系統之空間分析功能(Spatial Analysis)，計算研究區中各網格點之變遷機率；在解釋變數的篩選上，本研究採取逐步選取法(Stepwise Selection Method)進行變數選擇，即先將重要的變數依序納入模式中，同時亦對已選入的變數進行再檢定，直到模式中之所有解釋變數估值均可達顯著為止。以下針對沙丘海岸之 Logit 迴歸分析所使用之應變數及解釋變數度量方式及單位加以整理，如下表 3-2 所示，各變數說明如下：

表 3-2 沙丘海岸變遷空間分析之變項度量與編碼方式

	度量方式	編碼方式 / 單位
應變數		1 = 2006 年非為沙丘
2006 年是否為沙丘型態	類別變數	0 = 2006 年為沙丘
解釋變數		
海拔高	連續變數	百公尺

坡度	連續變數	度
平均降水量	連續變數	釐米
四季之風速	連續變數	公尺
四季之風向	連續變數	徑度
距堤防距離	連續變數	公尺
距海岸保安林距離	連續變數	公尺
距河流距離	連續變數	公尺
距道路距離	連續變數	公尺

基於隨機取樣較符合統計理論，且能減少資料運算處理時間，本研究利用 ARC/INFO 地理資訊系統軟體的 AML 指令，配合 C 語言所開發之隨機取樣(Random Sampling)程式，進行此模式建立所使用之樣本點取樣。此程式之取樣的方式是以橫麥卡托(Transverse Mercator)二度分帶平面直角絕對座標隨機設置樣本點位，並透過地理資訊系統的套疊分析功能，同時套疊樣本點與土地覆蓋主題圖以及環境因子圖層，求得每個樣點位於不同時期之土地覆蓋類型及各因子之資訊，當樣點落於試區外無資料(No data)之部分時則自動扣除，最後建立樣本空間點位圖層以及屬性表，供後續模式分析之用。

而取樣的方法採分層隨機取樣法，以 2003 年各土地覆蓋型面積 1% 為樣本點大小，共計約 2,037 點。但由於本研究區代表沙丘性海岸之沙地類別占總面積比例少，顧慮變為沙地與未變為沙地的樣本點比例過於懸殊，而導致模式的誤差，故由整體 1% 之樣本點整理出 2003 年至 2006 年改變為沙地類別之有效樣點 800 點，與轉變為其他土地覆蓋型之有效樣點 800 點，共計 1,600 個有效樣本點，進行二項式 Logit 迴歸分析與推導本研究區之沙丘性海岸變遷空間機率模式，並求算本試區沙質海岸之空間機率分佈圖。

由於模式之優劣與分析結果具有密切的關係，因此本研究採用模式之自變數 Wald χ^2 統計值，檢定此因子與應變數是否有顯著的影響；接著，利用對數概似率(-2 LogL；式(38))分析模式整體解釋變數對應變數變異量之解釋能力，當卡方檢定結果大於理論卡方值時，表示模式愈優秀，可有效解釋因變數之變異情形，反之，若卡方檢定結果小於理論卡方值時，表示模式對應變數之解釋能力不佳。其次，將 2003 年至 2006 年所建立之模式，利用模式挑選出之解釋因子圖層，利用 ESRI ArcGIS 地理資訊系統之圖層計算(Rater Calculate)功能計算出沙質海岸空間機率分佈圖。最後，將其與 2006 年、2009 年之沙丘土地覆蓋圖進行套疊分析，比較兩者空間分佈位置上之差異，進而驗證此空間模式在圖面展示上之正確性。



第四章 研究結果

本章探討蘭陽平原海岸地區變遷之情形，本研究利用 2003 年、2006 年與 2009 年之 SPOT 5 衛星影像，以階層式影像分類法，經由整合監督式與非監督式影像分類程序以獲得三時期試區之土地覆蓋主題圖，並比較各時期土地覆蓋型的面積變化；其次，透過馬可夫轉移機率矩陣以比較各土地覆蓋型之轉移情形，並結合量化之地景指標以及 Shannon 多樣性指標 t 檢定法，評估三時期地景結構及土地覆蓋變遷的差異程度；進一步，利用 Logit 迴歸模型分析土地覆蓋變化與海岸沙丘變遷的關係；最後，透過二項式 Logit 迴歸模式，建立環境因子與沙丘變遷的空間解釋模式，並分析蘭陽地區海岸沙丘的變遷機率。本研究之結果依序敘述如下。

第一節 衛星影像分類

蘭陽平原沿海之土地利用以農地與水產養殖為大宗，受到氣候及地形因子的影響，該地區之沙丘地形甚為發達。由於本區地形平坦，強勁的冬季季風與夏季颱風所夾帶的海岸沙礫及鹽份，常造成內陸之農損，為減輕災害，本段海岸沿線均已栽種防風林。

本研究考慮試區之土地利用/覆蓋特性，以及後續應用馬可夫鏈模式進行變遷預測之需求，故將試區之土地類型分為水體、沙地、農地、林地以及建成與交通用地等五大類別，其中水體類別包含了河川及水產養殖用地；建成與交通用地則涵蓋建築用地、道路、墳墓用地及裸露地等項目；而在農業用地方面，雖然本研究採用之三期影像均拍攝於春季，季節差異並不大，但部份地區仍有無耕作農地與耕作農地之別，又因作物之有無確實會造成地表光譜反應之差異，故本研究參考第二次國土利用調查資料之分類系統，先將農業用地細分為無耕作農地與耕作農地兩個子類別，待影像分類完成後，再將其合併回農業用地；此外因沙丘地形為宜蘭當地特有

之地貌特徵，故在分類時亦將其獨立為一類。

本研究利用階層式分類法進行衛星影像分類，首先，利用最大概似法 (Maximum likelihood)，透過監督式分類進行影像分類後，依據該地區土地覆蓋型之空間分佈特性，以海岸保安林為界線將試區分為海岸區與平原區後，針對其中較易混淆的區域再進行非監督分類，以提高結果之準確度。在分類準確度之評估方面，表 4-1 為 2006 年檢核區之分類混淆表，該結果顯示，沙地及農地兩類別較易發生混淆之情況，但其使用者精度仍在 82% 以上，並且就整體說，影像分類之整體準確率仍高達 93%，且其 Kappa 值亦達 91%，結果尚稱滿意，故進一步利用相同之方法完成 2003 年與 2009 年之影像分類，三時期之成果如圖 4-1。

表 4-1 2006 年檢核區之分類混淆表

95 年度第二次國土利用調查資料							
	水體	建成與 交通用地	沙地	農地	林地	總計	使用者 精度
水體	533	5	0	0	0	538	99.07%
建成與 交通用地	0	519	0	30	0	549	94.54%
沙地	13	26	181	0	0	220	82.27%
農地	0	50	0	530	11	591	89.68%
林地	0	1	0	6	314	321	97.82%
總計	546	601	181	566	325	2219	
生產者 精度	97.62%	86.36%	100%	93.64%	96.62%		
整體準確度	93.60%		Kappa 值	91.75%			

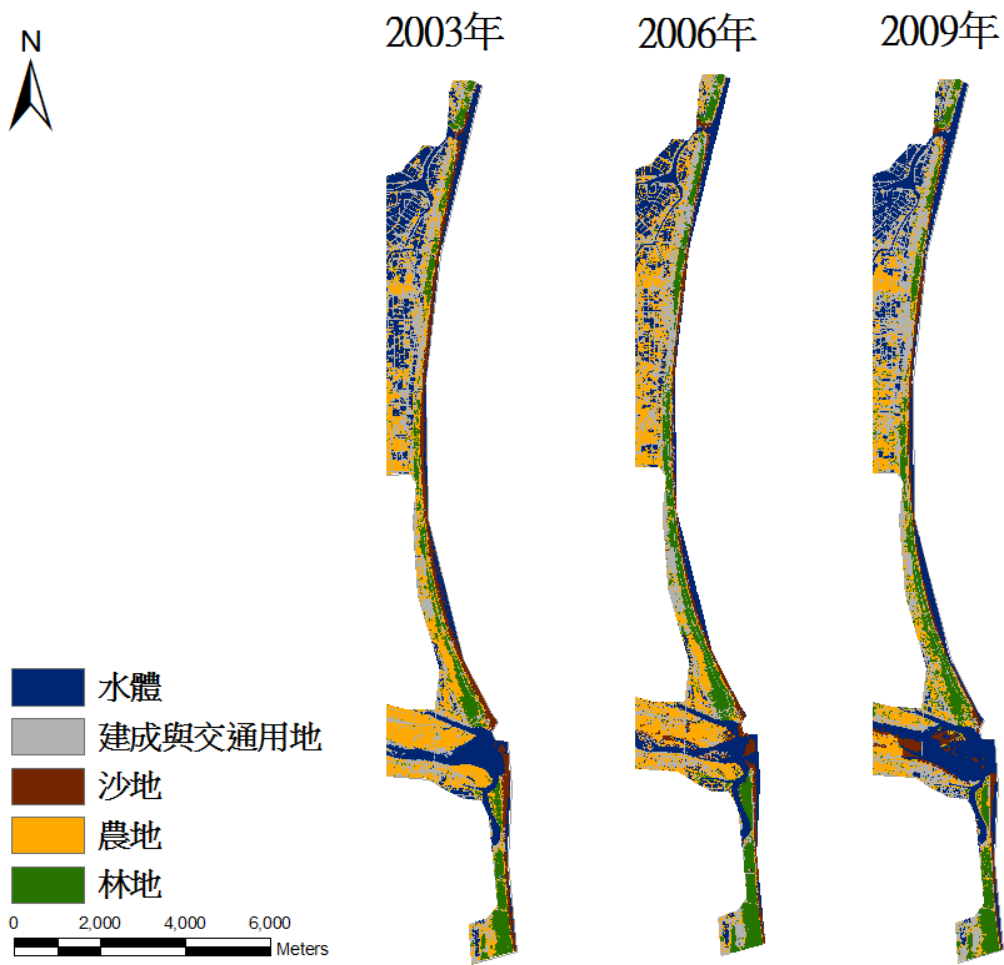


圖 4-1 三時期影像分類成果

第二節 地景變遷分析

本研究以三時期土地覆蓋分類結果為基礎，在比較各類型面積百分比之差異後，進而計算各期間之土地覆蓋轉移機率矩陣，並探討其土地覆蓋轉移情形；其次，透過量化之地景指標，以分析不同時期地景結構的破碎程度；最後再經由 Shannon 多樣性 t 檢定，以評估三時期蘭陽平源之地景結構是否有顯著的變化差異，結果詳述如下：

一、地景面積變遷分析

三時期土地覆蓋面積百分比之統計結果如表 4-2。由表中結果可知，2003 年宜蘭沿海地區在之五種土地覆蓋類別以水體的面積百分比最大(27.46%)，其次為農地(27.40%)、建成與交通用地(24.34%)、林地(12.65%)，沙地最少(8.15%)；而在 2006 年時則以農地所佔之比率最高(26.76%)，其次為建成與交通用地(25.59%)、水體(24.01%)、林地(16.41%)，而沙地面積仍為最少(7.23%)；至於在 2009 年方面，仍以水體所占面積百分比最高(29.17%)，其次依序為建成與交通用地(28.29%)、農地(23.41%)、林地(15.22%)以及沙地最少為(6.64%)。

表 4-2 三時期土地覆蓋面積百分比

土地覆蓋類型	2003 年	2006 年	2009 年
水體	27.46%	24.01%	29.17%
建成與交通用地	24.34%	25.59%	28.29%
沙地	8.15%	7.23%	6.64%
農地	27.40%	26.76%	23.41%
林地	12.65%	16.41%	15.22%
總計	100%	100%	100%

各土地覆蓋型在三時期面積變化趨勢如圖 4-2，由該圖可知，沙地與農地面積呈逐期遞減的情形，其中以沙地之減少幅度較小，每時期面積約減少 1%；而建成與交通用地則呈現逐期遞增的趨勢，尤以 2006 年至 2009 年間面積增加最多達 3%；在水體變化方面，在 2003 年至 2006 年其面積

減少約 3%，但至 2009 年時則增加約 5%；而林地之面積在 2003 年至 2006 年之三年間增加約 4%，至 2009 年時則減少約 1%。

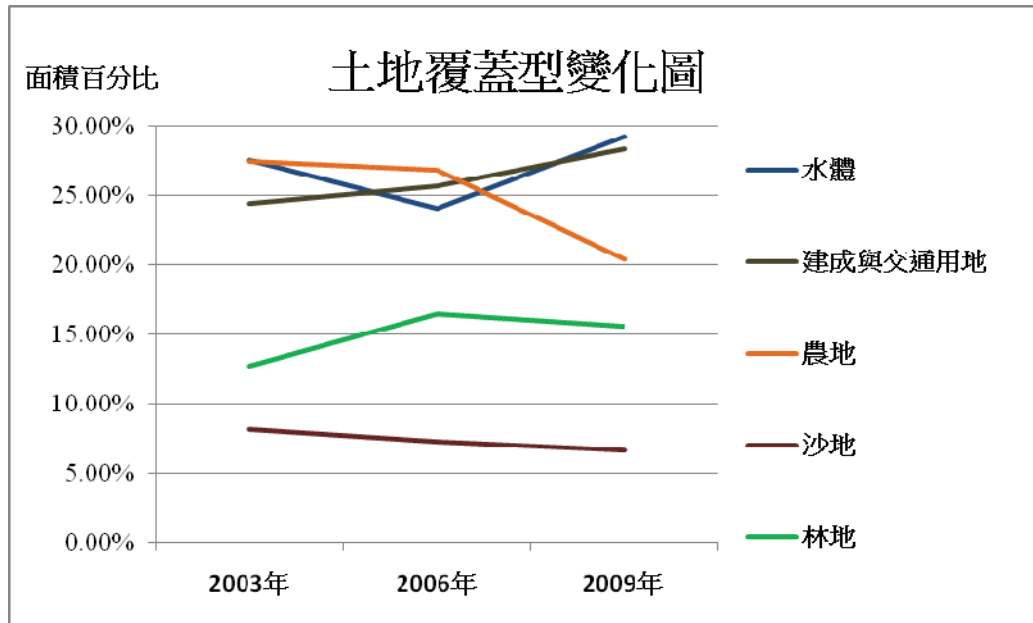


圖 4-2 三時期土地覆蓋型面積變化圖

其次，利用圖面展示三時期各覆蓋型面積之變化，結果如圖 4-3 至圖 4-7。觀察各土地覆蓋型空間分佈圖可得知，水體的範圍在三時期間呈現先減後增的趨勢，造成此現象的原因，主要是由於蘭陽溪出水口以及壯圍鄉平原內部魚塭面積的減少；而建成與交通用地在試區上半部之壯圍鄉則有逐漸增加且聚集的趨勢。

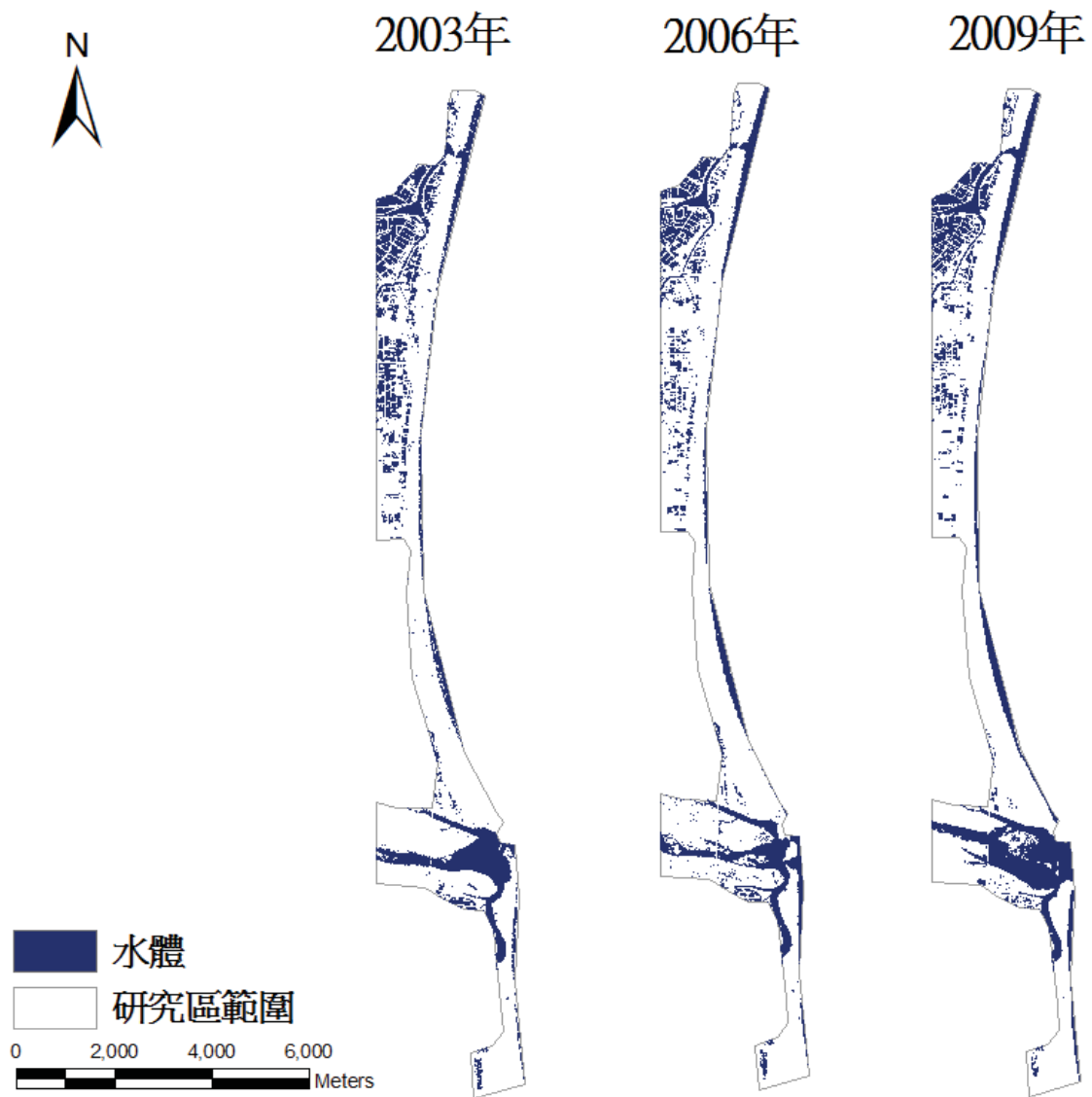


圖 4-3 三時期水體空間分佈情形

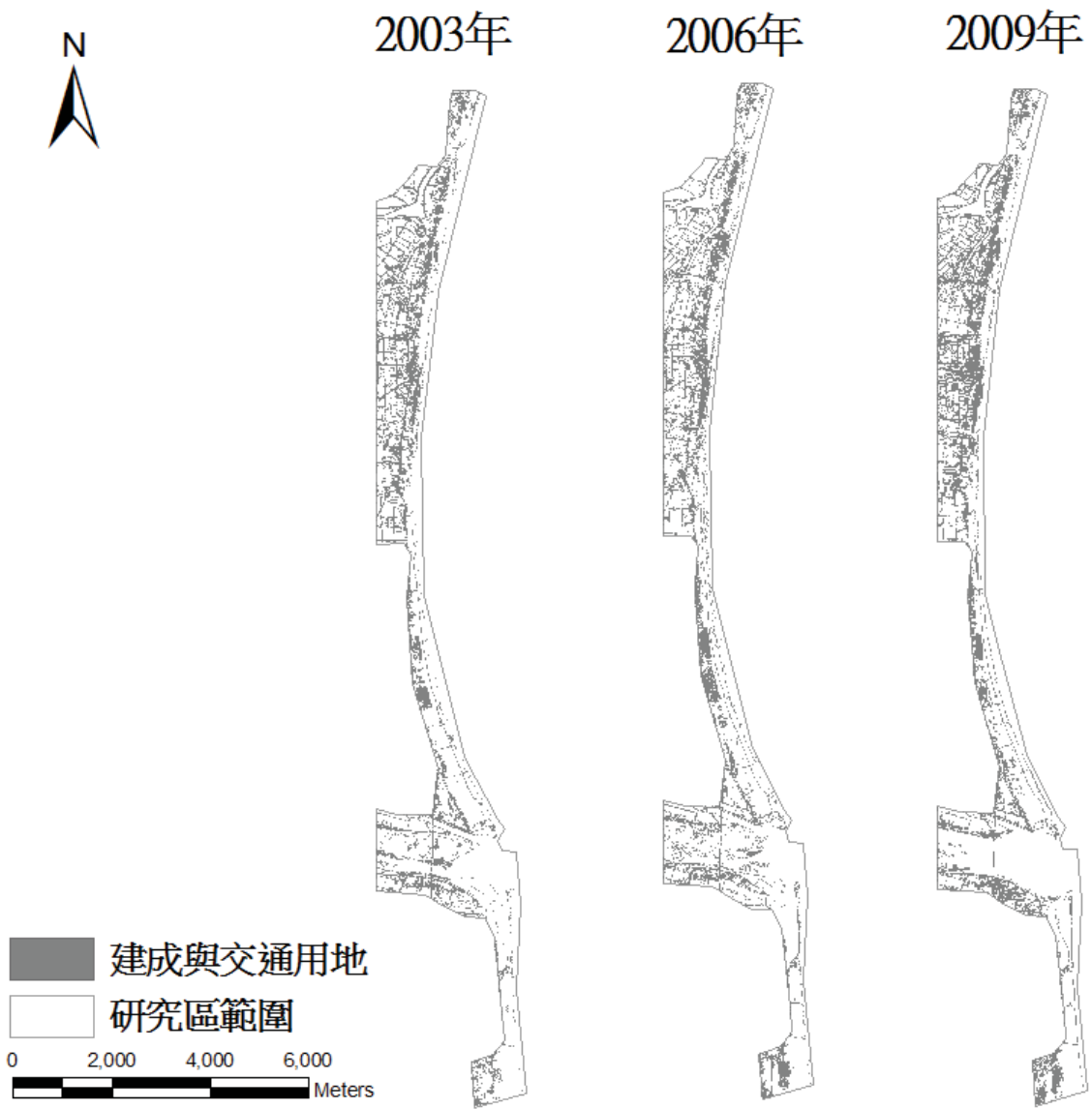


圖 4-4 三時期建成與交通用地空間分佈圖



圖 4-5 三時期沙地空間分佈情形

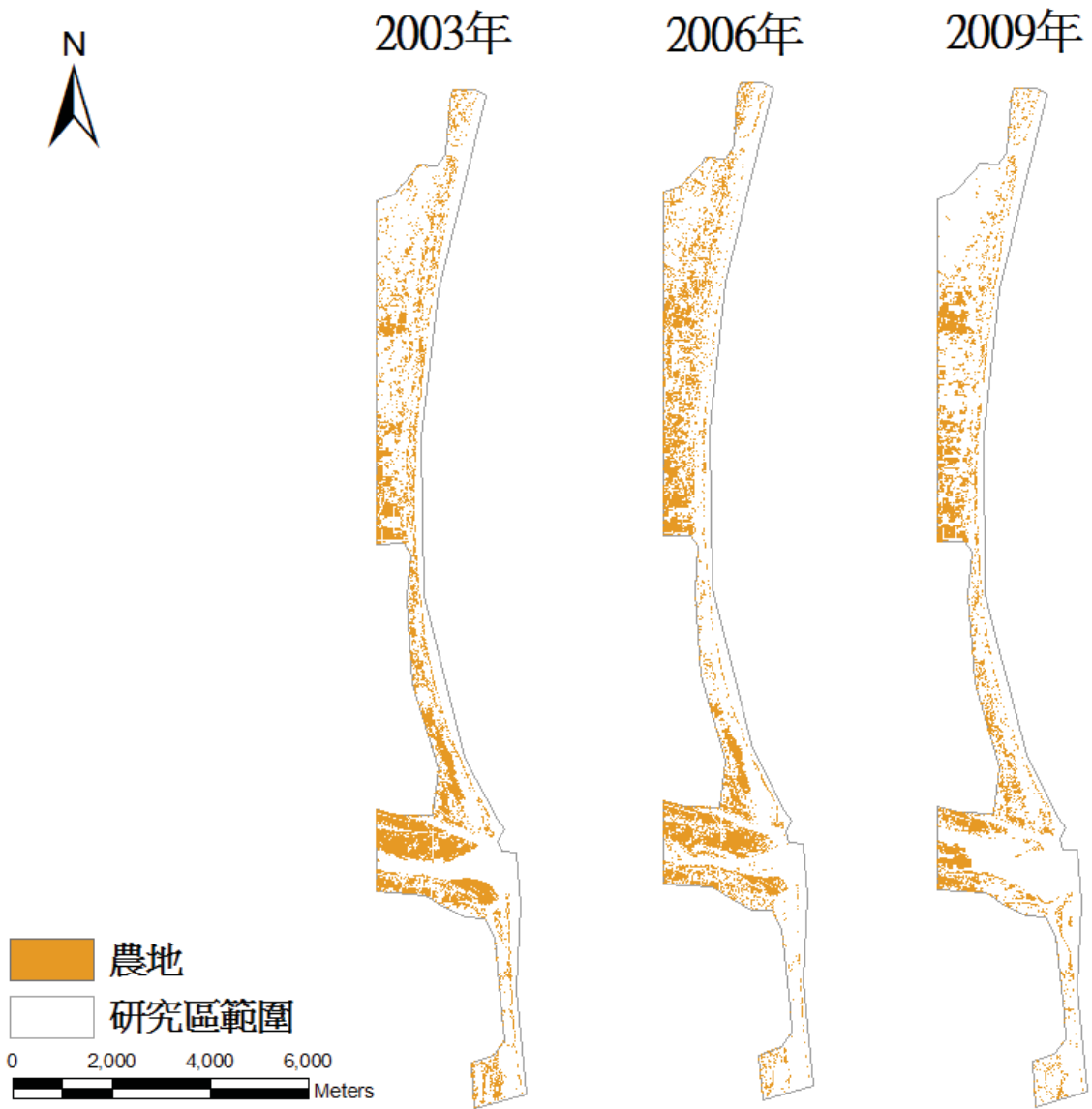


圖 4-6 三時期農地空間分佈情形

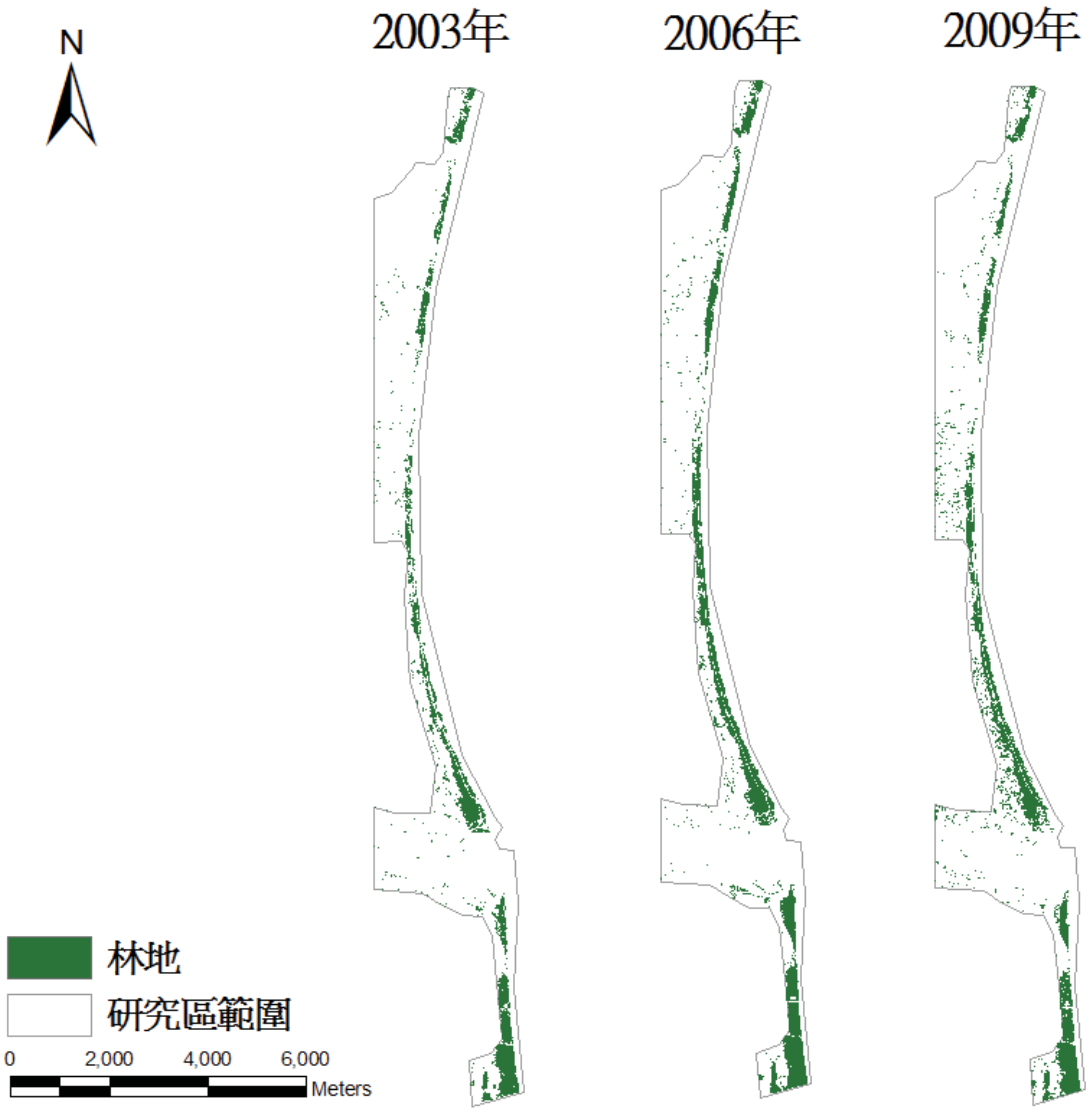


圖 4-7 三時期林地空間分佈情形

除此之外，蘭陽溪出海口在 2003~2009 年三個時期之地景空間分佈呈現明顯的差異，且根據出海口泥沙淤積程度的不同，民眾耕種的位置亦隨之改變，如圖 4-8 至 4-10 所示。

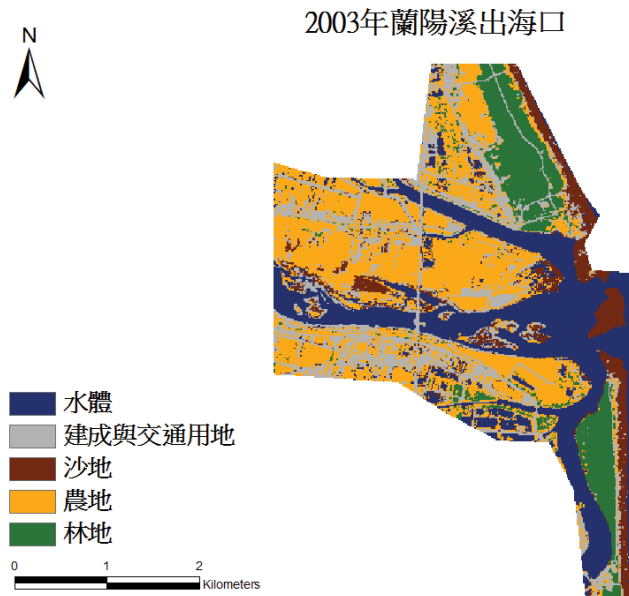


圖 4-8 2003 年蘭陽溪出海口

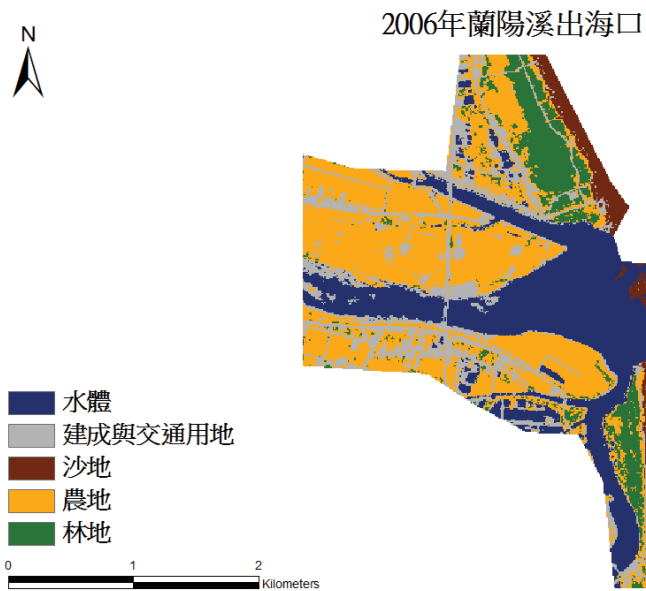


圖 4-9 2006 年蘭陽溪出海口

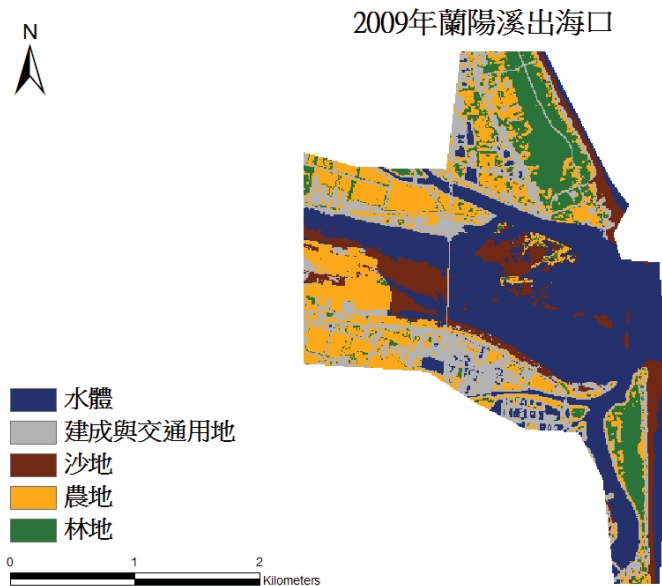


圖 4-10 2009 年蘭陽溪出海口

進一步整理 2003 年至 2006 年、以及 2006 年至 2009 年各土地類型面積之轉移機率矩陣，結果如下表 4-3 與表 4-4 所示。以 2003 年至 2006 年期間為例，其中橫行數字表示前期(2003 年)土地覆蓋類型轉換至後期(2006 年)各覆蓋型的機率;由縱列觀之，則可看出後期的某一項土地覆蓋型是由哪幾種類型轉換而來。

表 4-3 2003 年至 2006 年各土地覆蓋型轉移機率矩陣

2006 年	水體	建成與交通用地	沙地	農地	林地
2003 年					
水體	70.18%	7.98%	6.42%	15.17%	0.25%
建成與交通用地	7.52%	64.29%	2.45%	23.97%	1.77%
沙地	18.97%	14.00%	53.08%	10.47%	3.47%
農地	4.75%	22.08%	1.88%	54.63%	16.66%
林地	0.48%	4.43%	0.23%	7.42%	87.43%

表 4-4 2006 年至 2009 年土地覆蓋型轉移機率矩陣

2009 年 2006 年	水體	建成與交 通用地	沙地	農地	林地
水體	80.74%	11.75%	2.80%	4.37%	0.33%
建成與交 通用地	7.76%	67.17%	3.94%	17.89%	3.24%
沙地	36.50%	9.88%	49.24%	4.01%	0.37%
農地	19.04%	25.80%	5.01%	42.15%	8.00%
林地	0.39%	4.04%	0.33%	19.27%	75.96%

由表 4-3 與表 4-4 之結果可看出，建成與交通用地主要由農地轉變而來，轉移機率均高達 22%；水體在兩時段中由沙地轉變而來的比例為最高，分別為 18.97%與 36.50%；而在沙地方面，在兩個時段中均有約 50%的面積係由前期之沙地轉變而來，此外，雖然三時期沙地之面積僅呈現小幅度減少的趨勢，但整體而言，蘭陽海岸沙地之空間分佈實有明顯的改變，圖 4-11 至圖 4-15 為 2003 年與 2006 年五類土地覆蓋型轉換至後一期(2006 年、2009 年)其他類型之空間分佈情形。

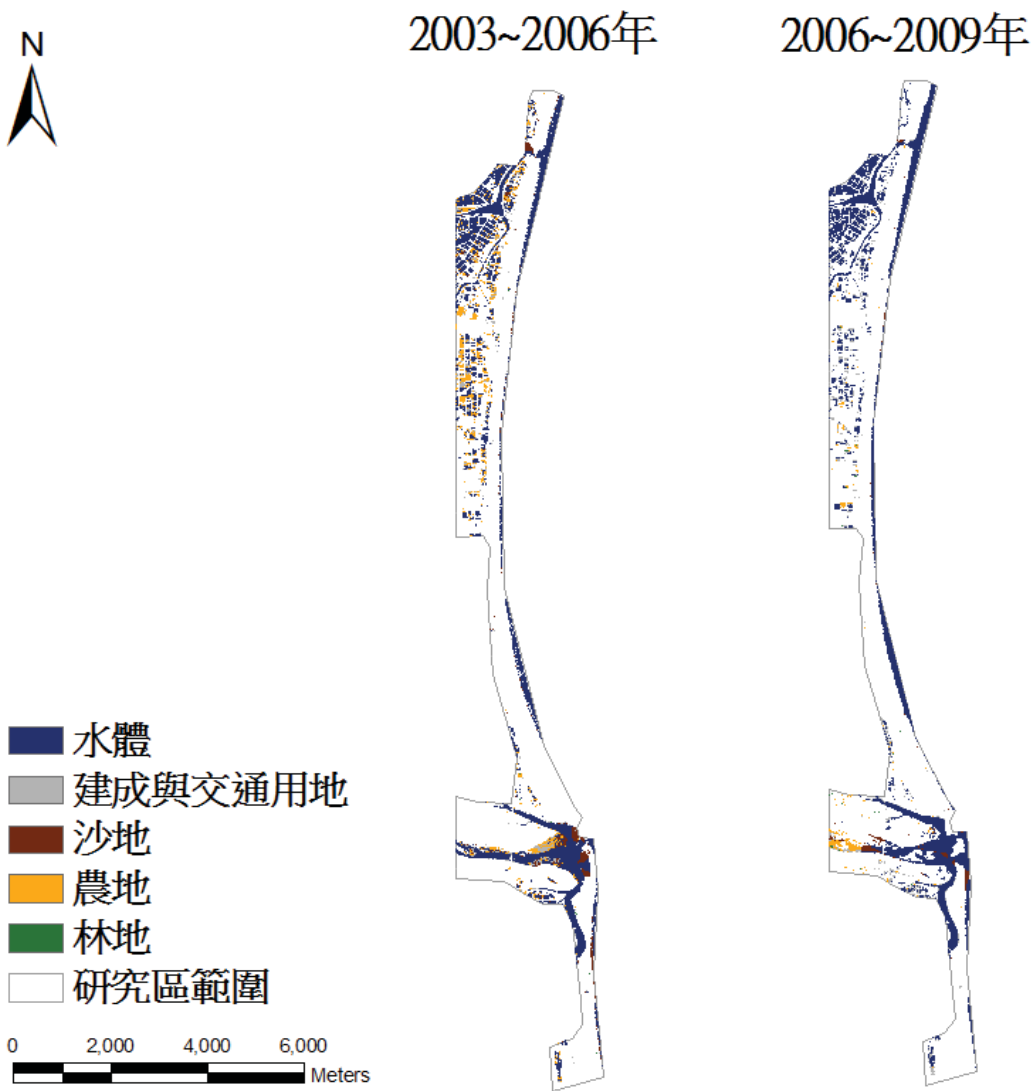


圖 4-11 兩時段水體轉移情形



圖 4-12 兩時段建成與交通用地轉移情形

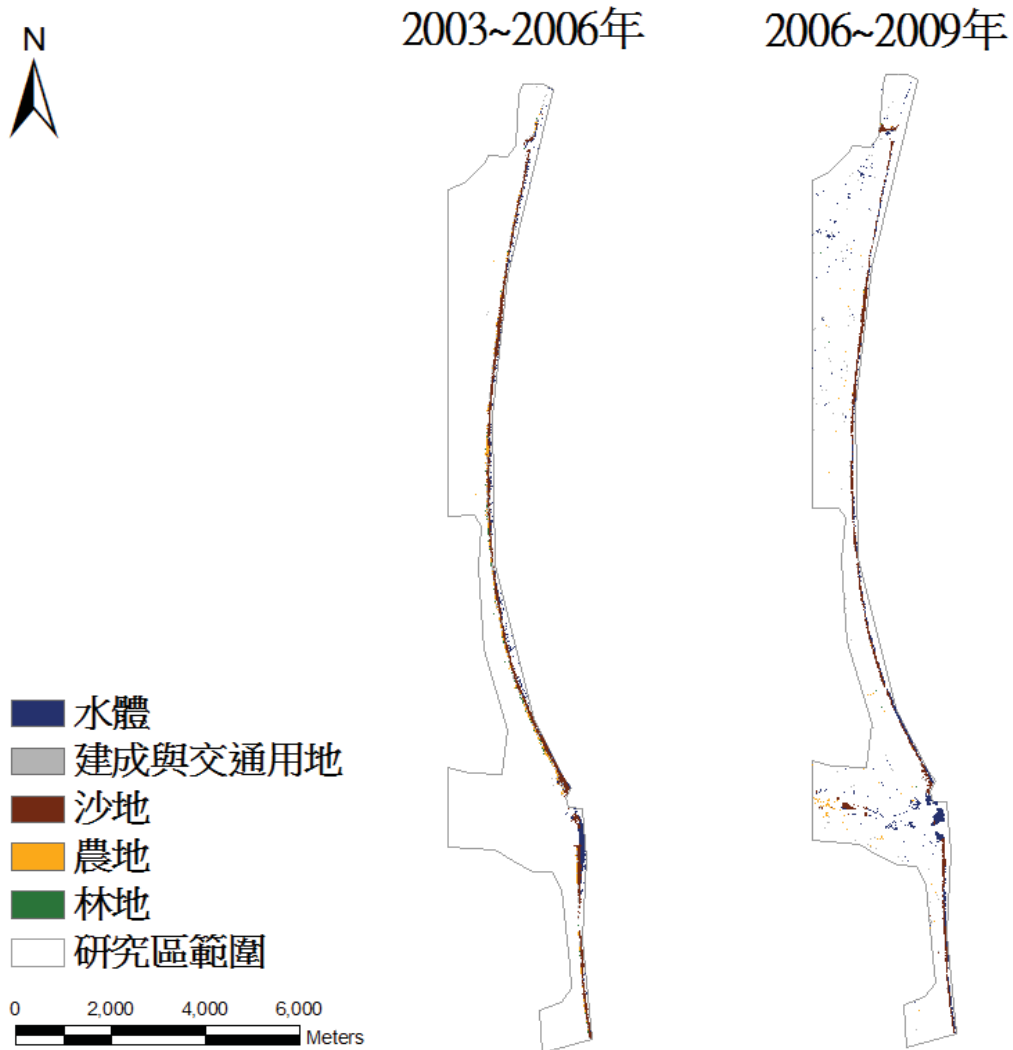


圖 4-13 兩時段沙地轉移情形

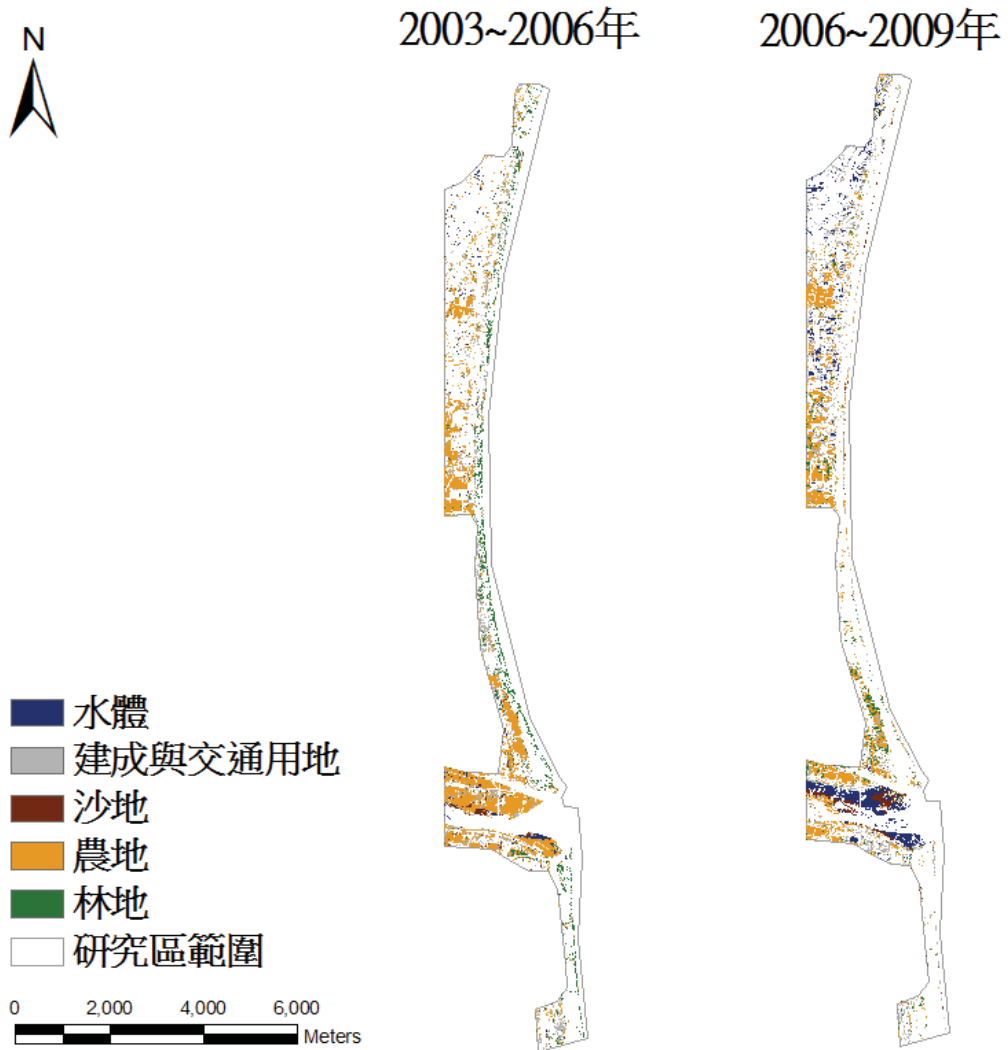


圖 4-14 兩時段農地轉移情形

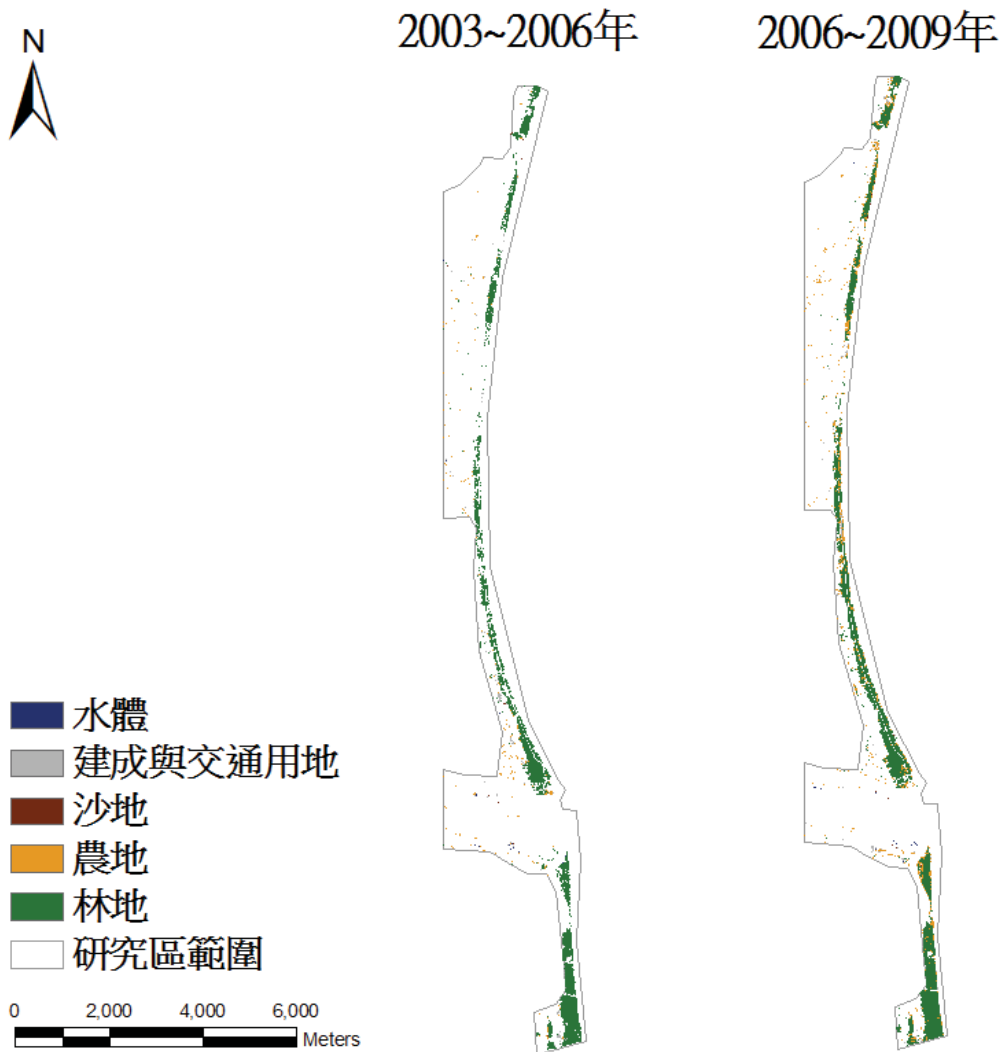


圖 4-15 兩時段林地轉移情

二、地景結構分析

由地景面積變遷分析之結果可知，蘭陽地區沙丘性海岸的沙質灘面在 2003 年、2006 年及 2009 年三時期間確實有逐期減少的趨勢。為了進一步分析各區塊體在空間上之分佈與排列，本研究利用 McGarigal and Marks(2002)所開發之 FRAGSTATS 程式集，共選擇區塊數量(Number of Patches; NP)、地景形狀指標(Landscape Shape Index; LSI)、區塊體之加權平

均形狀指標(Area-weighted mean; Shape_AM)、形狀變異數(Coefficient of Variation;Shape_CV)、以及 Shannon 多樣性指標(Shannon's Diversity Index; SHDI)，共計五項之量化指標進行地景結構量化，以比較不同時期蘭陽地區地景結構之變化情形，結果如表 4-5。

表 4-5 三時期之地景結構量化之結果

	2003 年	2006 年	2009 年
區塊數量	5362	7501	4210
地景形狀指標	47.758	54.385	44.687
加權平均形狀指標	11.670	12.683	12.605
形狀變異數	69.875	67.445	70.132
Shannon 多樣性指標	1.519	1.531	1.510

三時期地景指標之變化說明如下：

(一) 區塊數量及地景形狀指標

在 2003 年至 2006 年間，試區之區塊數量共增加了 2139 塊，而在 2006 年至 2009 年期間則減少了 3291 塊；至於在地景形狀指標方面，在 2003 年至 2006 年間其值呈上升之現象，而 2006 年至 2009 年間則有下降的趨勢。由於區塊數量之增加代表地景愈趨破碎，而地景形狀指標值愈大代表區塊在空間分佈上愈不完整，故綜合此兩項指標之分析結果可知，蘭陽地區之地景在三時期間，由破碎化逐漸轉變趨為較具完整性。三個時期的趨勢如圖 4-16 與 4-17 所示。

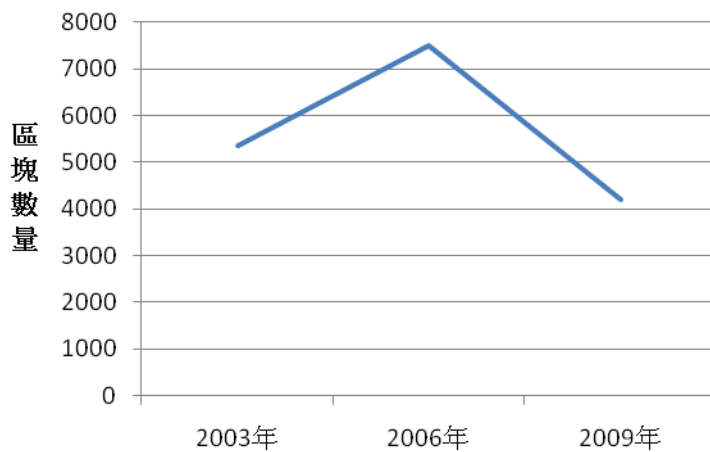


圖 4-16 三時期區塊數量變化情形

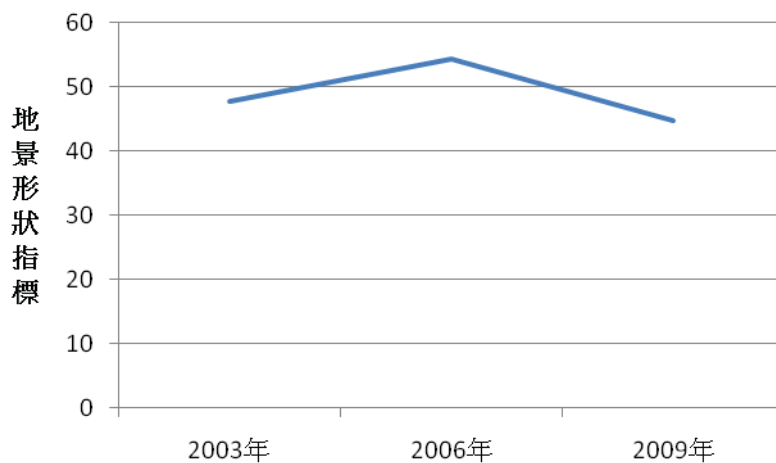


圖 4-17 三時期地景形狀指數變化情形

(二) 區塊體之加權平均形狀指標及形狀變異數

三時期加權平均形狀指標及形狀變異數之變化如下圖 4-18 與 4-19，由該圖可知，2006 年時面積加權形狀指標之值較 2003 年時為高，而形狀變異數則較 2003 年時低，到了 2009 年時，面積加權形狀指標僅有些微的降低，但形狀變異數則呈大幅上升。此結果代表 2006 年的區塊形狀較不規則，但其形狀的變異程度不高。相對而言，2003 年之區塊形狀較為緊密，各區塊形狀的變化程度亦較高；如進一步比較 2006 年與 2009 年之結果可知，此兩時期之區塊形狀較為相似，但 2009 年時區塊體之形狀變異程度較高。

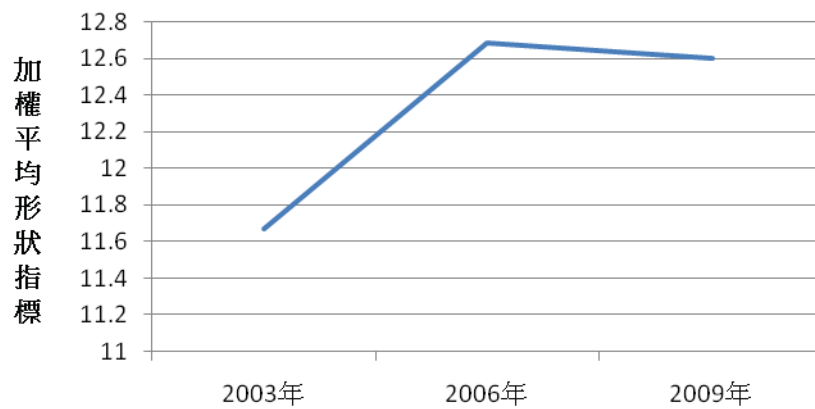


圖 4-18 三時期加權平均形狀指標變化情形

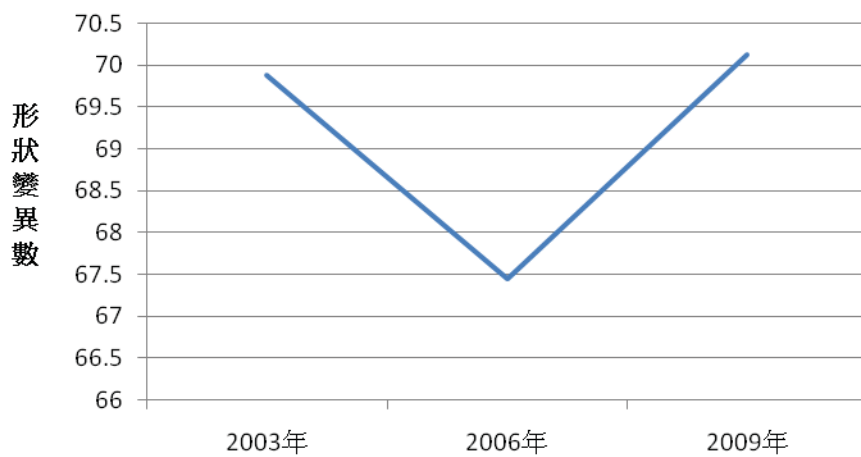


圖 4-19 三時期形狀變異數

(三)Shannon 多樣性指標

Shannon 多樣性指標(SHDI)為衡量地景之多樣性程度，其值越大代表各區塊面積之分佈比例愈平均，三時期 SHDI 值之變化情形如圖 4-20，該結果顯示，2006 年之 SHDI 值略大於 2003 年，而至 2009 年則呈下降的趨勢。由此可知，在三個時期中，2006 年各類型區塊面積之分佈比例較其他兩時期為平均。

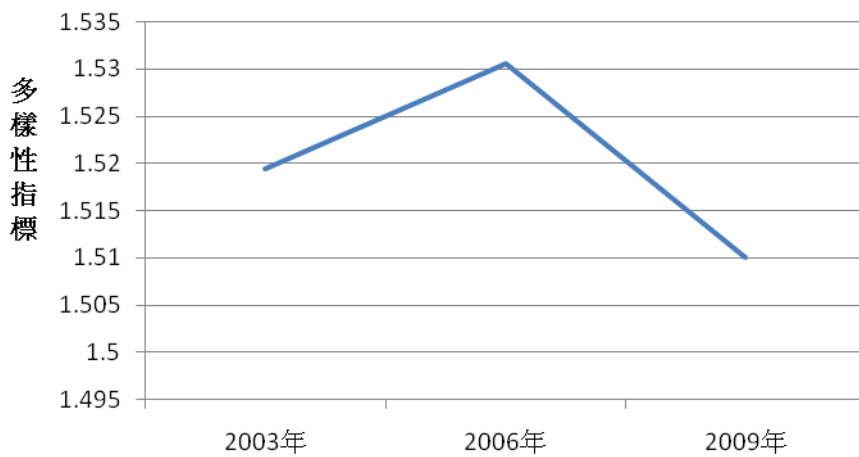


圖 4-20 三時期之 Shannon 多樣性指標

由上述地景指標之分析結果可知，各項量化指標確有小幅度的變化，此顯示三時期間之地景結構確實有所差異。為檢定其差異程度是否達到統計上的顯著水準，故本文參考前人研究，利用 Shannon 多樣性指數 t 檢定法，檢定三時期間蘭陽地區地景結構之差異程度，檢定結果整理如表 4-6。

表 4-6 本研究區兩時期 Shannon 多樣性指標 t 檢定結果

時期	2003 年 vs 2006 年	2006 年 vs 2009 年
計算 t 值	-1.69	2.82
自由度	10822	7841
5%顯著水準下之理論 t 值	0.67	0.67

當計算 t 值大於理論 t 值時，則棄卻虛無假說，即兩時期之地景無明顯性之變遷，代表兩時期之變化有達到統計上之顯著水準；反之，則代表某期間之地景結構無顯著的變化。由表 4-6 之結果可知，2003 年至 2006 年間之計算 t 值小於理論 t 值，而 2006 年至 2009 年大於理論 t 值，代表 2006 年至 2009 年期間之地景空間結構有明顯的變化。

第三節 地景變遷預測模式的建立

本研究以 2003 年至 2006 年蘭陽海岸之土地覆蓋變遷之趨勢，利用馬可夫鏈模式，推估試區之地景變遷，並以 2009 年蘭陽地區土地覆蓋主題圖進行模式之驗證，茲將結果說明如下：

一、馬可夫特性之驗證

在利用馬可夫鏈模式推估未來各土地覆蓋型之面積變化前，必須先檢定研究區之土地覆蓋變遷過程是否具有馬可夫特性，亦即各土地類別之轉移變化非為獨立的情形，方可應用馬可夫鏈模式進行模擬。本研究利用蘭陽地區 2003 年至 2006 年間之轉移機率矩陣(表 4-3)，透過 Goodman 的卡方檢定來檢驗研究區之地景變遷情形是否具有馬可夫特性，結果如下表 4-7。

表 4-7 本研究區地景變遷馬可夫特性之卡方檢定

2003 年 vs 2006 年	
卡方值	4957194312 **
理論卡方值	31.9999
自由度為 16	
**：於 1% 顯著水準時達極顯著	

在自由度等於 16，顯著水準等於 0.01 時，卡方統計值極大於查表之理論卡方值 31.9999，由此結果證明本區在 2003、2006 年兩時期間之地景變遷過程符合馬可夫特性，因此，可利用 2003 年至 2006 年間之轉移機率矩陣建立馬可夫鏈模式，進行變遷預測。

二、模式之建立與檢核

在建立預測模式之後，對模式之正確性必須先加以檢核，方可應用於後續分析，模試驗證之結果如下。

本研究以表 4-3 的 2003 至 2006 年轉移機率矩陣，模擬 2009 年之土地覆蓋百分比，並採用 2009 年之分類資料做為真值進行比較，結果如表 4-8。

表 4-8 2009 年馬可夫鏈模式驗證結果

	2009 年 預測結果	2009 年 真值	比較差值
水體	21.94%	29.17%	7.23%
建成與交通用地	27.5%	28.29%	-0.79%
沙地	6.71%	6.64%	+0.07%
農地	22.95%	20.36%	+1.79%
林地	20.9%	15.54%	+5.36%
合計	100%	100%	

由上表可知，在 2009 年之沙地類別面積預測誤差仍小於 1%，其他類別之面積真值與預測值的差距明顯有提高的現象，其中又以水體之誤差 7.67% 為最大。

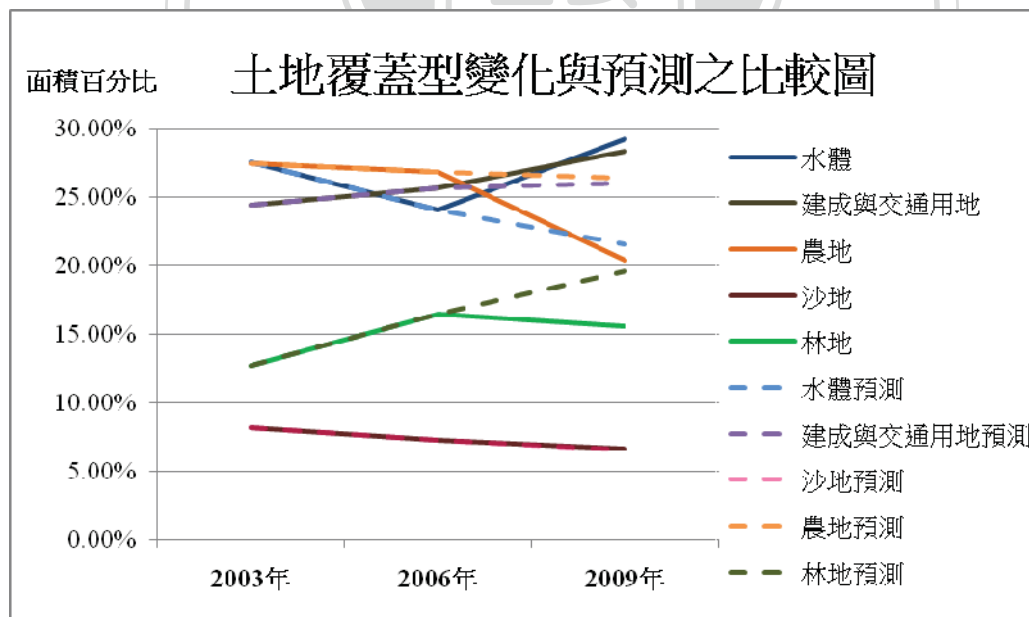


圖 4-21 土地覆蓋型變化與預測結果之比較

馬可夫鏈模式之理論基礎，係假定當某地區沒有其他干擾因子之介入而呈現穩定狀態時，該地區某一時期區域狀態的發生機率會受到前期已存在的狀態所影響，故透過轉移矩陣自乘的方式，可求得該區域未來各組類

別所佔面積的理論估值。如上圖 4-21 所示，由於蘭陽平原之地景變遷在 2003~2006 年、以及 2006~2009 年這兩個時段所呈現的趨勢及變化幅度差異，故此可能是造成模式在進行 2009 年面積預測時準確度較低的原因之一。然而如單就沙地之結果來看，無論在模式確認或模式驗證時其誤差比例均小於 1%，結果甚佳，加上 2009 年之後並無資料可供模式驗證，故本研究僅採用 2003~2006 年之馬可夫轉移矩陣進行模式之驗證與分析。



第四節 地景變遷之空間模式分析與建立

在完成地景變遷之面積預測後，進一步透過 Logit 迴歸模式分析，以探討：(1)研究區土地覆蓋類型的改變對於海岸沙丘變遷的影響，以及(2)建立試區 2003 年~2006 年沙丘海岸空間分佈之 Logit 迴歸機率模式，求算研究區之沙丘海岸空間變遷機率圖，進而探討未來沙丘變遷空間分佈的變化情形。成果依序分述如下。

一、土地覆蓋型變化與海岸變遷關係之 Logit 迴歸分析

土地利用/覆蓋變遷與人類生產活動及生態環境息息相關，土地利用型的變化將造成整體區域環境的影響，本研究先前透過 Shannon 多樣性指數 t 檢定結果得知，蘭陽地區在 2006 年至 2009 年期間之地景在空間結構上具有顯著的變化，故進一步利用 Logit 迴歸分析，分別探討 2003 年至 2006 年間與 2006 年至 2009 年之土地覆蓋型之變化與海岸變遷的關係，結果如下。

(一)2003 年至 2006 年土地覆蓋變化與海岸變遷關係

表 4-9 與表 4-10 顯示，雖然各別自變數對沙丘海岸後退的解釋能力均未達統計上之顯著水準，但聯合四種土地覆蓋型面積變化之情形可建立一 logit 模式，並對於沙質海岸後退之解釋能力已達統計上之顯著水準($-2 \log = 11.018, p=0.0264$)，其中以水體面積變化與對於沙地侵蝕之影響最為明顯 (wald chi-square 值 3.7922, p 值 0.0512)。但在 2003 年至 2006 年期間，本區沙質海岸變遷的情形與其他各類別土地覆蓋型的變化仍未有顯著的關係。

表 4-9 土地覆蓋變化與海岸變遷二項式 Logit 迴歸分析(2003-2006)

解釋變數	係數估值	Wald χ^2 值	Pr. > χ^2
常數項	-2.4232	2.1464	0.1429

水體變化比例	43.5417	3.7922	0.0512
建成與人為 用地變化比例	36.2047	2.8790	0.0897
農地變化比例	42.0556	3.5620	0.0591
林地變化比例	36.2756	3.1083	0.0779

表 4-10 模式整體適合度檢定(2003-2006)

卡方值 11.018

自由度 4

P 值 0.0264

(二)2006 年至 2009 年土地覆蓋變化與海岸變遷關係

經由 SAS 程式中的 Logit 模式之結果顯示，在 2006 年至 2009 年林地面積的變化與其他三類土地覆蓋型變化呈現線性相關之組合，可用數學式 (37) 表示：

$$Forest = -1.000000002 * Water - 1.0000000018 * Built - up - 1.0000000028 * Crop \quad (37)$$

上式可解釋，本區水體、建成與交通用地與農地面積的減少，將使得林地面積的增加，由於林地面積變化與其他解釋變數呈現高度相關性，故將此變數剔除後，繼續完成 Logit 程序，結果如下表 4-11 與 4-12。

表 4-11 土地覆蓋變化與海岸變遷二項式 Logit 迴歸分析(2006-2009)

解釋變數	係數估值	Wald χ^2 值	Pr. > χ^2
常數項	2.6888	5.6258	0.0177
水體變化比例	-5.5583	0.0633	0.8014
建成與人為 用地變化比例	19.2335	0.7573	0.3842
農地變化比例	17.9068	0.8413	0.359

表 4-12 模式整體適合度檢定(2006-2009)

卡方值	5.773
自由度	3
P 值	0.1232

由表 4-11 與 4-12 可知，各別自變數對沙丘海岸侵蝕之解釋能力，均未達統計上之顯著水準，而整體模式之適合度檢定顯示土地覆蓋型變化對於沙丘海岸後退之解釋能力亦未達統計上之顯著水準(P 值為 0.1232)，由上述結果可說明，在 2006 年至 2009 年期間，本區之地景結構雖然在面積與空間分佈上均有明顯的變化，但其與沙質海岸之退化並無顯著的相關性。

二、沙丘海岸之 Logit 空間分佈機率模式

本研究以 2003 年至 2006 年兩時期間之土地覆蓋型是否轉變為沙地做為應變數，並以海拔高、坡度、距道路距離、距河流距離、距堤防距離、距海岸保安林距離，以及降水量、四季之風速、風向等十五項與地形、環境及氣候相關之因子作為解釋變數，建立沙丘海岸變遷與環境因子之 Logit 迴歸模式，相關結果詳述如下：

(一) 沙丘性海岸之二項式 Logit 迴歸分析

2003 年至 2006 年之二項式 Logit 迴歸分析結果如下表 5-13。由表中結果可知，海拔高、距堤防距離、距河流距離、距保安林距離、秋季風速、冬季風速、冬季風向與坡度等八項解釋變數之 Wald χ^2 分別為 45.1913、97.2758、52.8008、70.0173、6.1519、79.8379、65.9785、88.2118 及 52.5402，其對應 P 值均小於 0.001，因此此八項解釋變數對於 2006 年土地覆蓋型是否改變為沙地均有極顯著之影響，故均納入模式中。

二項式 Logit 迴歸分析之結果可獲得各解釋變數的係數估值，該值的大小及正負符號，代表所對應之變數對土地覆蓋型改變為沙地之機率的影響能力、以及變動關係之正反方向。係數估值若為正號，代表在控制其他自變數的條件下，土地覆蓋型之類別變成沙地的機率隨著對應自變數值的增加而增加。反之，一個顯著的負係數則代表土地覆蓋型變成為沙地的機率隨著對應自變數增加而減少(吳治達，2004；王濟川、郭志剛，2008)。另一方面，由於 Logit 迴歸的應變數不是普通的連續變數，而是對數發生比($\log[p/(1-p)]$)，故對應每個自變數的估計係數亦可解釋為該自變數對於 Logit 的影響程度(王濟川、郭志剛，2004)。

表 4-13 2003~006 年沙丘性海岸變遷之二項式 Logit 迴歸分析結果

解釋變數	係數估值	Wald χ^2	Pr. > χ^2
常數項	11.1725	45.1913	0.0001
海拔高	-0.4305	97.2758	0.0001
堤防距離	0.0009	52.8008	0.0001
河流距離	-0.0049	70.0173	0.0001
保安林距離	0.0018	6.1519	0.0001
秋季風速	55.0056	79.8379	0.0001
冬季風速	-25.2362	65.9785	0.0001
冬季風向	-9.0171	88.2118	0.0001
坡度	0.2379	52.5402	0.0001

由表 4-13 中各因子係數之正負可知，當海拔愈低、坡度愈陡、距離已存在的堤防與保安林愈遠、距河流愈近時，本研究區之土地覆蓋型愈容易轉變為沙地，即改變成沙地的機率愈高；此外，模式共挑選出秋季風速、冬季風速與冬季風向三項氣象因子，其中秋季風速之係

數符號為正向，且其係數估值為所有變數中最高者，可說對於形成沙地相當程度的正面幫助，而冬季風速與冬季風向因子對土地覆蓋型轉變為沙地為負面程度的影響。

宜蘭海岸地區十月中旬至次年二月之東北季風期間，地面盛吹西風及西南風，在夏季之西南季風期間，地面則多吹東北風及東風，其與季風來向恰相反(張長義等，1991)。而在風速與風向營力於宜蘭沙丘性海岸變遷的影響方面，前人文獻(張政亮，1992)指出，冬季強勁的東北季風與夏秋間的颱風均對海岸有強烈的侵蝕能力。進一步統計試區風速、風向因子之值域，並將結果整理如表 4-14。雖然本研究在季節上之區分與前人文獻有些差異，但由統計結果顯示，試區在秋、冬兩季之風向約介於南風至西南風間，而夏季風向亦介於東北至東風之間，此與前人文獻之說明相符。此外如與其它季節相比，冬季之風速不僅較強，且其值域之變異亦較大，而秋季之風速雖較冬季為低，但在本模式中已具顯著之影響力。

表 4-14 本區風速風向推估之結果

	春季 (3~5月)	夏季 (6~8月)	秋季 (9~11月)	冬季 (12~2月)
風速(m/s)	0.691~1.152	1.205~1.659	0.529~1.302	0.523~1.887
風向(°)	215~269	75~127	167~265	175~240

在整體模式檢驗方面，本研究利用對數可能率進行卡方檢定，以分析模式整體解釋變數對於應變數變異量之聯合解釋能力，結果如表 4-15，由結果可知，在顯著水準 5%時，模式對於應變數之解釋能力可達極顯著之效力。

表 4-15 模式整體適合度檢定

卡方值	632.896
自由度	8
P 值	0.0001**
**	於 5%顯著水準下，極為顯著。

(二) 沙丘性海岸之預測機率模式

本研究利用二項式 Logit 分析以建立沙丘性海岸之環境變遷模式，結果如式(38)；進一步，將該式進行數學轉換，可得本研究區之沙質海岸空間分佈機率模式，結果如式(39)所示。

$$\logit(p) = 11.1725 - 0.4305 \times B_1 + 0.0009 \times B_2 - 0.0049 \times B_3 + 0.0018 \times B_4 + 55.0056 \times B_5 - 25.2362 \times B_6 - 9.0171 \times B_7 + 0.2379 \times B_8 \quad (38)$$

上式中 B_1 至 B_8 分別為迴歸分析之解釋變數：

B_1 ：海拔高 B_2 ：堤防距離 B_3 ：河流距離 B_4 ：保安林距離
 B_5 ：秋季風速 B_6 ：冬季風速 B_7 ：冬季風向 B_8 ：坡度。

$$P = \frac{e^{11.1725 - 0.4305 \times B_1 + 0.0009 \times B_2 - 0.0049 \times B_3 + 0.0018 \times B_4 + 55.0056 \times B_5 - 25.2362 \times B_6 - 9.0171 \times B_7 + 0.2379 \times B_8}}{1 + e^{11.1725 - 0.4305 \times B_1 + 0.0009 \times B_2 - 0.0049 \times B_3 + 0.0018 \times B_4 + 55.0056 \times B_5 - 25.2362 \times B_6 - 9.0171 \times B_7 + 0.2379 \times B_8}} \quad (39)$$

將模式所挑選出之八項解釋變數的參數值帶入式(39)中，即可求得沙地之空間變遷預測機率，此機率值代表在 2003 年至 2006 年間各環境因子之影響條件下，試區中各空間點位轉變為沙地的可能性。進一步利用 ArcGIS 空間分析模組裡的圖層計算(Raster Calculator)功能，根據式(38)與式(39)進行模式運算，即可獲得沙丘性海岸之預測機率分佈圖，結果如圖 4-22。圖中每一像元轉變為沙地之機率介於 0 至 1 之間，愈接近 0 代表土地覆蓋轉變為沙地之機率愈低，愈接近 1

則代表轉變為沙地之機率愈高。觀察圖 4-22 可知，模式預測高度轉變機率的地區(機率值 0.5 以上)，與本研究沙質海岸的空間分佈位置甚為相符。

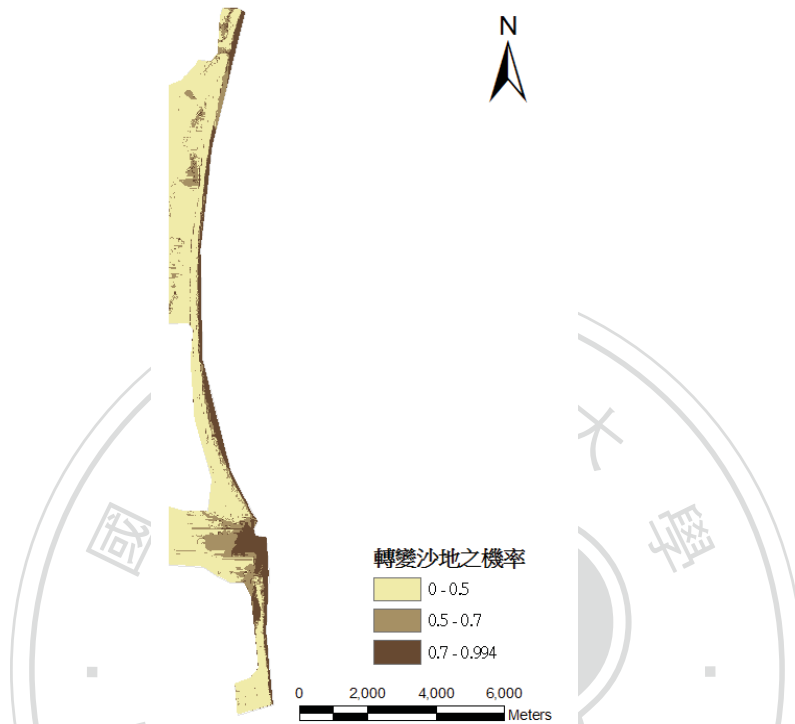


圖 4-22 沙丘海岸預測機率圖

為評估模式預測之正確率，故將 2006 年沙地分類之結果與預測機率圖進行套疊，成果如下圖 4-23 與表 4-24。首先就圖面檢核之結果可看出，除了研究區上半部之竹安溪河口處的預測機率略低於 0.7、以及蘭陽溪沿岸部份地區之預測有所誤差外，蘭陽溪出海口以及海岸邊緣之預測機率值均高於 0.7；至於在表 4-16 之結果則指出，如以轉變機率 0.5 作為可能轉變為沙丘之門檻值，本模式之整體預測準確率可達 80% 以上。

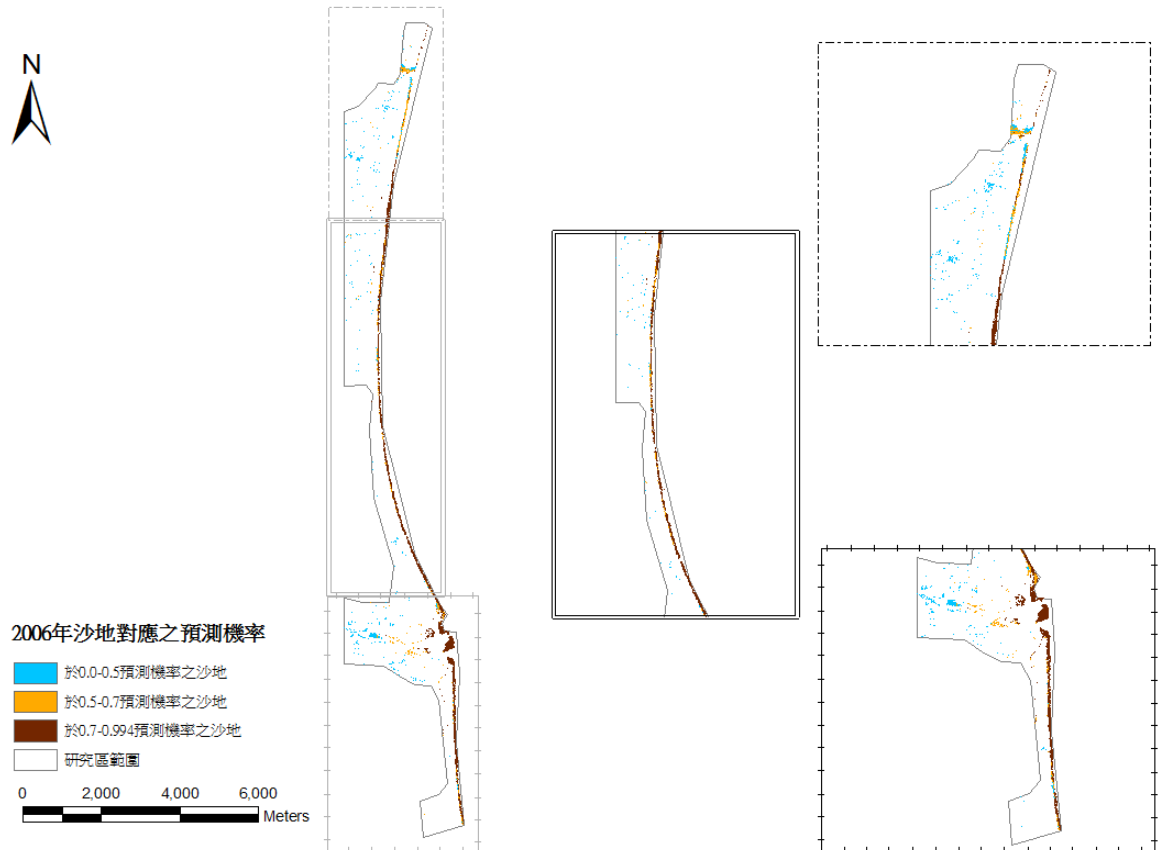


圖 4-23 預測機率與 2006 年沙地套疊結果

表 4-16 2006 年沙地預測驗證結果

預測機率	2006 年沙地百分比
0.0-0.5	19.9%
0.5-0.994	80.1%

進一步再以 2009 年沙地之分類結果進行模式確認，結果如圖 4-24 與表 4-17。圖 4-24 顯示，雖然預測模式在竹安溪口之沙岸(本試區之上半部)預測機率低於 0.5，與實際之沙岸空間分佈有落差，但在海岸中下段地區之推估結果則相當不錯，整體來說，2009 年之沙地仍有 75% 以上是落於機率值 0.5 以上的區域。

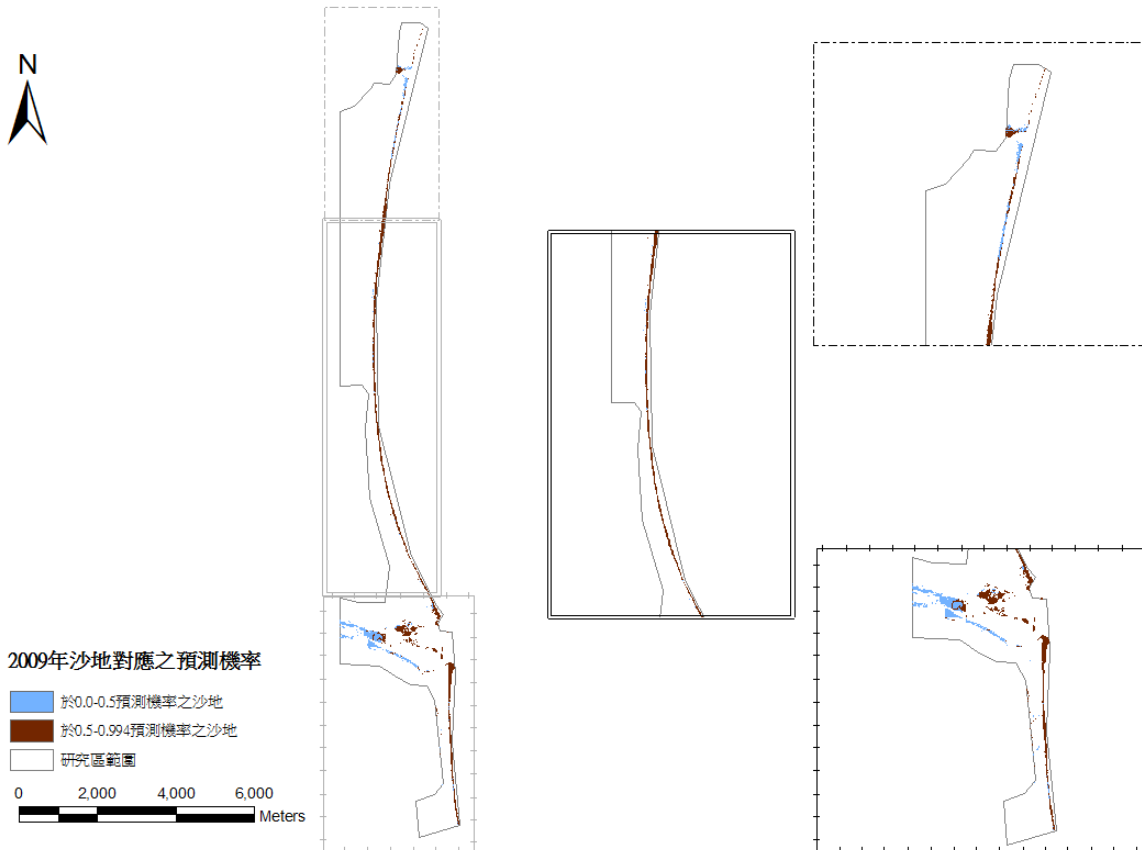


圖 4-24 2009 年沙地與預測機率圖套疊結果

表 4-17 2009 年沙地與預測機率模式之確認結果

預測機率	2009 年沙地百分比
0.0-0.5	25.1%
0.5-0.994	74.9%

第五章 討論

本研究利用遙測影像分類技術以獲取多時期之土地覆蓋資料，並整合地景生態學與數學模式，以分析並預測蘭陽地區地景結構及沙丘海岸之變遷，但在影像分類、地景變遷分析、地景變遷模式之建立等研究過程中，仍有部份議題值得加以討論：

第一節 衛星影像分類

本研究考慮試區之土地利用狀況以及研究目的，故以美國地質調查所(USGS, 文獻)所建立的影像分類系統中第一層級之組類為基準，透過階層式分類方法結合傳統監督與非監督分類程序，將試區分為：水體、建成與交通用地、沙地、農地與林地等五種類別。其中之監督式分類程序，係透過選取之訓練樣本以建立分類規則，再經由逐像元分類的概念將整幅影像分成目標類別，由於訓練樣本的選取過程較為主觀，故本研究參考第二次國土利用調查之成果以進行樣本取樣，分類的成果經檢核後雖尚稱滿意，但第二次國土利用調查主要係利用 2005 年拍攝的航空照片，進行影像判釋後所完成，此與本研究所採用的 2006 年衛星影像仍有一年的時距，未來若能取得時間更為相近的參考資料，實有助於提高影像分類的正確率。

除此之外，本研究採用第二次國土利用調查成果做為地表真值，經過組類的重新合併後(Recode)以進行影像分類準確度的評估，此結果亦可能會受到上述資料生產時間之差異所影響，但由於本研究之分類準確度已達美國地質調查所衛星影像分類的標準(整體準確度在 85% 以上)，故此部分即不再加以深究。

第二節 地景變遷分析

一、地景面積變遷分析

由三時期土地使用之比較結果可知，蘭陽溪出海口在 2003~2009 年間雖有明顯的變化，但溪口旱地耕種的情形確持續存在，由於此區域為水鳥棲息地，隨著旱作地的擴展將減少草澤的面積，而影響水鳥的棲所，此外，耕作時所施用之農藥等化學藥劑容易流入溪流系統，進而汙染水質並危害自然生態環境，建議有關單位針對此點應及早擬定因應策略。

至於在地景面積的變遷分析方面，本研究透過馬可夫轉移機率矩陣，了解試區土地覆蓋型變化的情況，結果顯示，建成與交通用地主要係由農地轉移而來，其機率高達 25%。水體則係以沙地之轉移為大宗(18.97%與 36.50%)，且後期之沙地與前期沙地面積相同處僅均佔約 50%，由此可知沙地之空間分佈變異性極大。除此之外，建築交通用地轉變成農地之機率頗高，推究其原因，可能係因建築交通用地中所包含的道路、裸露地、墳墓等次級分類，與農地中所包含的耕作與無耕作農地，在光譜特徵上具有相似的情況，故造成分類時的混淆情形。

二、地景結構分析

三時期地景結構的量化結果顯示，區塊總數、地景形狀指數、平均加權形狀指數與 Shannon 多樣性指數在 2003 年至 2006 年間均呈現上升的趨勢，而形狀變異數則呈減少的趨勢，然而至 2009 年時，除了形狀變異數呈現增加的情形，其餘指數均有下降的趨勢。由此可知，在 2006 年時地景結構較為破碎、區塊形狀較不規則，但各區塊的形狀變異程度不高，各類型區塊面積的分佈比例亦較平均，亦即各類型之區塊平均分佈在整個地景而沒有聚集的情形；在 2009 年時較具完整性，且各類型之區塊亦有空間聚集的趨勢，如將此結果與三年度土地類型的空間分佈圖進行對照 (圖 4-3 至 4-7)，可發現建成與交通用地以及農地兩類別確實有明顯的空間聚集情形。交通建設會影響產業的發展，進而改變土地利用的變化，然而近年來與宜蘭地區相關之國內重大交通建設即為國道五號—北宜高速

公路，北宜高速公路自 1999 年雪山隧道開始動工至 2006 年 1 月全線通車，這期間雪山隧道與北宜高速公路的建設伴隨著周遭土地利用的開發與建設，對於整體環境亦會造成衝擊、影響整體地景結構上的變化，此可能為造成三時期地景指標變化的原因。

此外，本研究係使用衛星影像分類結果進行地景指標量化，在傳統逐像元式的分類理論中，係假定影像中之所有像元均為獨立單元，彼此間並無空間關聯性，故其分類結果通常會有椒鹽效應(Salt and Pepper Effect)存在(雷祖強等，2009)。為避免地景指標之計算結果受影響，故本研究在完成監督式分類程序後，即利用道路、堤防等變化幅度較小的地物圖籍資料，針對較嚴重的雜訊點或誤判區域進行分類修正，以降低影像分類對後續分析可能造成的誤差。

三、土地覆蓋型變化與海岸變遷之關係

本研究利用二項式 Logit 迴歸分析以探討兩時期土地覆蓋變化與沙質海岸線後退的關係，由於本研究曾運用逐步挑選法篩選變數，兩時期之結果均因各解釋變數的 Wald χ^2 統計檢定未達 5% 統計顯著水準，即各別變數對於海岸後退均無顯著的影響，則無法建立模式與了解可能隱含之關係，故在此處則以不挑選或刪去未達顯著水準的自變數，要求所有自變數均納入迴歸模型中的全型模型建立模式，雖然 2003 年至 2006 年間聯合各土地覆蓋型面積變化對海岸後退可建立模式，但兩時期各別土地覆蓋型的變化對本區海岸後退的現象仍無顯著性的關聯，而蘭陽平原地區在 2006 年至 2009 年間之地景空間變遷經統計檢定結果顯示已達顯著的水準，但此結果僅能證明，這兩年間各土地覆蓋類型面積的變化可以線性關係式進行描述，而土地覆蓋的變遷與沙丘海岸的退化並無明顯的關連性存在。除此之外，本試區係依土地覆蓋類別加以分類，未來研究可嘗試再細分其土地利用型(如：漁塭、工業區)加以分析。

第三節 地景變遷模式建立

在進行沙丘性海岸空間分析時，秋季風速、冬季風速與冬季風向為模式所挑選出最具影響權重之三項主要因子，其權重係數分別為分別為+55.0056、-25.2362 與-9.0171。此可說明沙質海岸的發生與風速、風向的堆積與侵蝕作用有高度的相關性。本區秋季與冬季風速之值域分別為每秒0.529~1.302 公尺、與 0.523~1.887 公尺，由此可知，風速愈強將會減少沙地的發生機率，然吹送風速如落於秋季風速之值域間，將有利於沙地的堆積，此結果與前人文獻(張政亮，1992；許民陽、張政亮，2002)所提出的強風侵蝕為影響海岸後退的原因之一相符。然而過去文獻雖未認為海拔之高低可能為影響本區海岸後退之因子，但在模式中其統計檢定值達顯著水準，為重要因子之一，蘭陽平原沿海地區地形平緩但仍有相對起伏，會阻擋風的吹送，進而可能造成沙丘海岸生成與變化。

此外，距離堤防、河流與海岸保安林之距離的相關性雖不如風速風向等變數，但亦為重要的關鍵因子，本研究雖未直接量化人為作用對土地覆蓋的影響，如開採砂石的數量等，但由模式分析之結果來看，以距離因子作為替代的空間變數，仍可有效描述人為作用對沙丘變化的影響能力。此外，本研究之試區為宜蘭縣之沿海一帶，試區之範圍與現行之行政區界並不相同，故無法直接使用宜蘭縣政府及其所屬機關所發佈的各項社會、經濟統計數據進行分析，因此本研究僅就地理環境與氣象因子對沙丘變遷之影響進行探討，建議後續研究可針對社會、經濟面向之影響加以分析。

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究應用遙測影像分類技術，以獲取蘭陽海岸地區在 2003 年、2006 年及 2009 年之土地覆蓋資訊，並藉由馬可夫轉移矩陣以及量化之地景指標，以探討三時期土地覆蓋及地景結構的變化及差異，最後，透過二項式 Logit 迴歸分析，以推估沙丘性海岸之空間分佈機率，研究結果如下。

(一) 衛星影像分類：

本研究採用階層式分類法，結合監督式與非監督式影像分類程序以進行土地覆蓋分類，結果共將試區分為水體、建成與交通用地、沙地、農地及林地五大類別，經由檢核區進行影像分類的評估結果可知，雖然沙地及農地兩類別之光譜特徵較易混淆，但其使用者精度仍在 82% 以上，並且整體之分類準確率及 Kappa 值亦高達 93% 與 91%，結果尚稱滿意。

(二) 土地覆蓋變化：

三時期土地覆蓋變遷之分析結果指出，沙地與農地面積逐期遞減，而建成與交通用地則呈現遞增的趨勢；在水體變化方面，2003 年至 2006 年面積減少約 3%，但至 2009 年時面積則增加約 5%，發生變化的區域主要位於蘭陽溪出海口處；而林地在 2003 年至 2006 年間增加約 4%，至 2009 年時則減少約 1%。此外，蘭陽溪出海口在三個時期的地景變化甚大，但其河口堆積的沙洲處則持續有人為耕種的情形發生。

(三) 地景指標與 Shannon 多樣性指標 t 檢定：

本研究選擇五項地景層級之量化指標，並應用 Shannon 多樣性指標 t 檢定法測驗各時期地景變遷的程度差異。結果顯示，於

2003 年及 2006 年間，除了形狀變異數減少外，其餘之指標包括區塊數量、地景形狀指標、平均加權形狀指標與 Shannon 多樣性指標之值均有上升；而 2006 年至 2009 年間則呈相反之趨勢。至於在變遷程度的檢定結果則指出，2003 年至 2006 年之地景結構雖有差異，但其變遷程度未達 5% 之顯著水準，但至 2009 年時其變化的程度便已達統計上的顯著程度。

(四) 馬可夫鏈預測模式：

由卡方檢定檢驗結果證實，2003 年至 2006 年各土地覆蓋型之轉移機率矩陣具有馬可夫特性，便以此建立土地覆蓋面積之馬可夫預測模式，在 2009 年模式驗證的部分，以水體與農地類別與真值相差較大，分別約減少 7.67% 與增加了 6%，而兩時期在沙地預測面積之結果良好，與真值差均小於 1%。

(五) 二項式 Logit 迴歸分析：

本研究利用二項式 Logit 迴歸模式，首先探討兩時段(2003 年至 2006 年，以及 2006 年至 2009 年間)之土地覆蓋變化與海岸變遷之關聯性，然而結果顯示，兩時期土地覆蓋型的變化，並非影響海岸變遷之主要因子。

其次，為探討沙丘性海岸變遷與環境因子間的關係，故本研究選擇十五項與沙地發生有關的地形、環境及氣候因子，透過二項式 Logit 迴歸分析，以探討蘭陽地區沙丘的變遷機率。結果顯示，海拔高、坡度、距堤防遠近、距河流遠近、距海岸保安林遠近、秋季風速、冬季風速與冬季風向等八項因子與沙丘性海岸的發生具有顯著的關係，其中以秋季風速、冬季風速與冬季風等三項因子之影響程度最大。

進一步，透過數學轉換與 GIS 的空間分析技術，以推估蘭陽

地區沙丘海岸之空間機率分佈圖，並利用 2006 年與 2009 年沙地之分類結果進行套疊檢核，結果指出，分別有 80%與 75%之沙地係發生機率 0.5 以上的範圍內。

綜合以上結果可知，在 2003 年、2006 年及 2009 年三時期間，蘭陽地區的沙質海岸確有逐期遞減的趨勢，其中又以風速及風向因子之影響為主因，此外，結合量化之地景指標、統計模式與 GIS 的空間分析及展示功能，實有助於了解地景結構的空間變化情形。



第二節 建議

- (一) 本研究利用衛星影像之分類資料作為研究材料，為避免資訊組類 (Information class) 進行影像分類時之混淆問題，本研究統一以土地覆蓋型，亦即光譜組類 (Spectrum class) 作為分類類別，此方法雖可降低分類之誤差，然而在進行後續的模式分析時，確實較難直接反應出真實的土地覆蓋型對海岸變遷的影響效應。此外，由於衛星影像與第二次國土利用調查資料仍有一年的時距，故後續如可得更為精細、以及時間上更為相近之地面調查資料，將有助於提高分析結果的可靠性。
- (二) 本研究採用階層式影像分類法，整合傳統之監督式與非監督式影像分類進行土地覆蓋圖之生產，然而此方法並未考慮到各像元的空間相關性。近年來物件導向式的分類方法愈趨盛行，因其可改善逐像元式分類所產生的椒鹽效應，故建議後續研究可嘗試不同方式的影像分類技術，進而提高分類結果的準確度與可信度。
- (三) 本研究在進行沙丘性海岸環境特性之分析時，受限於社會、經濟及政策面等資料蒐集及取得上的困難，故僅選取十五項地形、環境及氣候有關的變數進行分析，然事實上諸如人口分佈、旅遊人口數量、工業區的開發、海岸保安林種植之作物種類、管理單位之處理策略等社會面向之因子亦可能影響沙丘的變遷，基於此，建議後續在從事相關研究時，可將上述之社會、經濟因素納入考量。

參考文獻

一、中文參考文獻

- 丁志堅，1997，「運用馬可夫鏈模式度量土地利用變遷之研究」，國立臺灣大學地理環境資源研究所碩士論文，臺北。
- 丁志堅，2002，「屏東平原土地利用變遷分析與模式建立」，國立臺灣大學地理環境資源研究所碩士論文，臺北。
- 方琮雅，2001，「桃園台地水域用地空間結構變遷之研究」，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，臺北。
- 王素芬，1998，「地理資訊系統和碎形維度於森林地景空間變化之應用」，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文，臺北。
- 王兆桓、陳子英，2002，「林木健康指標評估方法之建立—以棲蘭地區老熟塊木為例」，『行政院農業委員會林務局保育研究系列』，91-6：47。
- 王濟川、郭志剛，『Logistic 迴歸模型—方法及應用』二版，臺北：五南圖書出版股份有限公司。
- 林德清，2005，「蘭陽溪砂石管理及疏浚策略之研究」，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士學位論文，基隆。
- 巨廷工程顧問股份有限公司，1992，「蘭陽溪河川石砂採取評估報告」，宜蘭縣政府。
- 朱子豪，1994，「新店河流域土地利用變遷之調查分析--行政院國家科學委員會計畫成果報告」。國立臺灣大學地理環境資源學研究所。
- 吳振發，2006，「土地利用變遷及景觀生態評估方法之建立」，國立臺北大學都市計劃研究所博士論文，臺北。
- 吳治達，2004，「民墾地之地景變遷監測研究」，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文，臺北。
- 林裕彬、林怡君，1999，「以景觀生態觀點探討蘆竹鄉農田景觀結構」，『中國文化大學地理研究報告』，12：107-130。
- 林裕彬、鄧東波、曾正輝，「以地理資訊系統及地理統計於空間分析之研究」，『中國文化大學地理學系地理研究報告』，14：117-139。
- 林志東，2004，「花蓮北部平原地區土地利用分析」，國立東華大學自然資源管

- 理研究所碩士論文，花蓮。
- 林志明，1998，「宜蘭地區土地利用變遷之研究」，中國文化大學地學研究所地理組碩士論文，臺北。
- 林金樹，1996，「遙測資訊在生態環境變遷監測上應用之研究--以台南地區為例」，國立臺灣大學森林學研究所博士論文，臺北。
- 林金樹、陳峰盛，2002，「空間統計之半變異數模式對推估降雨量空間分佈之影響」，文章發表於〈2002年中華地理資訊學會年會暨學術研討會〉，台中逢甲大學：民國91年10月3日至10月4日。
- 邱文彥，2002，「海洋與海岸資源合理利用永續發展：子計畫六一整合性海岸管理理論與實務之研究 I」，行政院國家科學委員會補助專題研究計劃報告書。
- 徐美玲，2001，「以土地利用距離變數推測宜蘭海岸防風林的變遷」，《地理學報》，30：71-87。
- 許民陽，1997，「海岸後退研究的概觀」，《中國地理學會會刊》，25：89-102。
- 許民陽、張政亮，2002，「蘭陽平原海岸後退之研究」，《中國地理學會會刊》，30：57-76。
- 許民陽，2004，「臺灣的地景與生物之多樣性」，〈永續陸域生物多樣性教學研習基礎班〉，台北市立師範學院環境教育研究所：民國93年7月15日至7月18日；7月22日至25日。
- 許鵬，1995，「宜蘭海岸海灘斷面變化特性之研究」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，臺南。
- 郭金棟，1990，《『台灣海岸地形變化及其未來之開發利用』》，國立成功大學水利及海洋工程學系研究報告。
- 陳癸月，2003，「蘭陽平原土地利用與海岸變遷關係之研究」，私立中國文化大學地學研究所地理組碩士論文，臺北。
- 陳耀茂，2001，《『多變量解析方法與應用』初版二刷》，臺北：五南書局。
- 陳奕庭，1996，「整合地理資訊系統以及計量經濟方法於坡地利用之研究—以阿里山鄉坡地開發為例」，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文，臺北。
- 陳惠芬，1981，「臺灣當今地盤的上升與下降」，私立中國文化大學地學研究所碩士論文，臺北。

- 黃君偉，2004，「突堤對下游灘線長期變遷影響之數值模擬」，國立中興大學土木工程學碩士論文，臺中。
- 黃琦聆、周天穎、吳政庭，2008，「應用 GIS 技術於宜蘭地區產業發展之探討」，文章發表於〈2008 年空間資訊基礎建設國際研討會暨台灣地理資訊學會年會〉，行政院經濟建設委員會、台灣地理資訊學會：台北，民國 97 年 10 月 23 日至 24 日。
- 黃誌川、徐美玲、朱子豪，2001，「區別分析於衛星影像土地利用分類之應用——以宜蘭沿海鄉鎮為例」，『地理學報』，29：107-201。
- 黃俊英，1998，『多變量分析』，臺北：華泰書局。
- 皓宇工程顧問股份有限公司，2009，「烏石港至蘭陽溪旅遊待整體景點改善成果報告書」，交通部觀光局東北角海岸國家風景管理處。
- 葉春國，2006，「水里溪上游集水區地景型態與溪流水質關係之研究」，國立臺灣師範大學地理學系碩士論文，臺北。
- 張政亮，1992，「蘭陽平原海岸沙丘之地形學研究」，國立師範大學地理學研究所碩士論文，臺北。
- 張政亮，1995，「台灣海岸沙丘之地形學研究」，中國文化大學地學研究所博士論文，臺北。
- 張啟德等譯，1994，『景觀生態學』，臺北：田園城市文化事業有限公司出版。
- 張長義、楊雲龍、劉英毓，1991，『台灣海岸地區環境資源保育考察研究報告』，臺北：國立台灣大學地理學研究所。
- 馮豐隆、黃志成，1997，「惠蓀林場土地利用之地景排列和變遷」，『中華林學季刊』，30(4)：387-400。
- 馮景瑋，2007，「淡水河口土地覆蓋變遷之研究」，中國文化大學景觀學研究所，臺北。
- 彭紹英，1992，『SAS 與統計分析：PC/主機第六版以後』修訂第三版，臺北：儒林。
- 游繁結，1989，「臺灣海岸的防風定砂」，『科學月刊』，20：121-123。
- 曾忠一，1997，『氣象資料同化』初版，臺北：渤海堂。
- 楊雲龍，1995，「蘭陽平原環境災害識覺之研究」，國立臺灣大學地理學研究所博士論文，臺北。

- 雷祖強、李哲源、葉惠中、萬絢，2009，「以區塊化物建分類法萃取 ADS-40 影像中水稻田坵塊資訊之研究」，『航測與遙測學刊』，14(2)：127-140。
- 趙民德、謝邦昌，2002，『多變量分析』，臺北：曉園出版社。
- 廖亞禎，2002，「校園土地利用之地景變遷-以中興大學台中校區為例」，國立中興大學園藝學系碩士論文，臺中。
- 蔡建立，1994，「風、波、流和潮汐作用下海岸地形變遷之數值模擬研究」，國立海洋大學河海工程研究所碩士論文，臺北。
- 蔡博文，2001，「蘭陽平原養殖土地利用變遷分析」，『中國地理學會會刊』，29：93-101。
- 鄭祈全、許立達、賴玉菁，2001，「應用土地利用資訊系統監測森林地景變遷之研究」，『臺灣林業科學』，16(1)：1-19。
- 鄭祈全，1999，「森林地景變遷監測之研究」，『臺灣林業科學』，14(4)：493-507。
- 劉少陽，2003，「空間分析應用於海岸地區土地利用規劃之研究—以花蓮溪口水鳥保護區規劃為例」，國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文，花蓮。
- 劉其輝，2005，「結合遙測與地理資訊系統於都市發展之研究」，國立政治大學地政學系碩士論文，臺北。
- 劉進金、徐偉城、鄭鼎耀、李珮珊、史天元，2008，「利用 MODIS 與 SPOT 衛星影像於分析台灣海域海水透視度」，文章發表於〈第十屆水下技術研討會暨國科會成果發表會〉，中華民國海洋及水下技術協會、國立中山大學海洋科學學院、海下科技暨應用海洋物理研究所、交通部高雄港務局：高雄，民國 97 年 4 月 25 日。
- 劉玲華，2004，「台灣北中部海岸保安林健康指標評估法」，國立屏東科技大學森林系碩士論文，屏東。
- 經濟部水利署，2001，「主要採石河川砂石資源調查報告書」。
- 薛怡珍、李國忠、邱祈榮、賴明洲、劉淑，2002，「陳有蘭溪流域地景變遷之分析」，『中華林學季刊』，35(4)：375-386。
- 鍾鴻文，2003，「宜蘭海岸地形斷面特性分析與預測」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，臺南。
- 謝啟賢、蔡博文、張康聰，2007，「養殖土地利用變遷預測模式之建立-個體施為取徑」，『地理學報』，47：1-18。

羅時凡，2007，「遙測技術應用於森林健康監測」，國立屏東科技大學森林系碩士論文，屏東。

蕭正凱，2009，「區域降雨時空分佈變遷特性」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，桃園。

梁蕪善，1985，「地理學計量分析」。中國文化大學出版部。

二、外文參考文獻

- Baily, B. and Nowell, D., 1996, "Techniques for Monitoring Coastal Change: A Review and Case Study", *Ocean & Coastal Management*, 32(2):85-96.
- Backer, W. L., 1989, "A Review of Models of Landscape Change", *Landscape Ecology*, 2(2):111-133.
- Ben-Akiva, M., and Lerman, S. R., 1985, "Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand", *The MIT Press*, Cambridge, Massachusetts.
- Bentz, Y., and Merunka, D., 2000, "Neural Networks and the Multinomial Logit for Brand Choice Modeling: A Hybrid Approach", *Journal of Forecasting*, 19: 177-200.
- Boerner, R. E., DeMaers, M. N., Simpson, J. W., Artigas, F. J., Silva, A., and Berns, L. A., 1996, "Markov Models of Inertia and Dynamism on Two Contiguous Ohio Landscapes", *Geographical Analysis*, 28(1):56-66.
- Chen, S.S., Chen, L.F., Liu, Q.H., Li, X., Tan, Q., 2005, "Remote Sensing and GIS-based Integrated Analysis of Coastal Changes and their Environmental Impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China", *Ocean & Coastal Management*, 48:65-83.
- Carboni, M., Carranza, M. L., Acosta, A., 2009, "Assessing Conservation Status on Coastal Dunes: A Multiscale Approach", *Landscape and Urban Planning*, 91:17-25.
- Davies, P., Williams, A. T., Curr, R. H. F., 1995b, "Decision Making in Dune

- Management: theory and practice”, *Journal of Coastal Conservation*, 1(1): 87-96.
- Diaz, N., and Apostol, D., 1996, “Forest landscape analysis and design: A process for developing and implementing land management objectives for landscape patterns”, USDA Forest Service Pacific Northwest Region. R6ECO-TP-043-92.
- Dale, V.H., R. V. O., M. Pedlowski, Southworth, F., 1999, “Causes and Effects of Land-use Change in Central Rondnia, Brazil”, *PE&RS*, 59(6): 997- 1005.
- Dolan, R., 1972, “Barrier Dune System along the Outer Banks of North Carolina: A Reappraisal”, *Science*, 176:286-288.
- Erdas, Inc., 2008, *ERDAS Field Guide*.
- Fisher, R. A., 1930, “The Genetical Theory of Natural Selection”, *Oxford University Press*, 318
- Forman, R. T. T. and Godron, M., 1986, *Landscape Ecology*, New York: John Wiley & Sons.
- Franklin, J. F. and Forman, R. T. T., 1987, “Creating Landscape Patterns by Forest Cutting: Ecological Consequence and Principles”, *Landscape Ecology*, 1(1):5-18.
- Friedberg, S. H., Insel, A.J. and Spence, L.E., 1992, *Linear Algebra*, Prentice-Hall International.
- Farina, A., 2000, *Landscape Ecology in Action*, Dordrecht : Kluwer Academic Publisher.
- Goodman, L. A., 1968, “The analysis of crossclassified data: Independence, quasi-independence, and interactions in contingency tables with or without missing entries”, *J. Am. Stat Assoc*, 63:1031-1091.
- Gustafson, E. J., and Parker, G. R., 1992, “Relationships between Land Cover

- Proportion and Indices of Landscape Spatial Pattern”, *Landscape Ecology*, 7(2):101-110.
- Goovaerts, P., 2002, “Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall,” *Journal of Hydrology*, 228:113–129.
- Hansom, J. D., 2001, “Coastal Sensitivity to environmental Change: A View from the Beach”, *Catena*, 42:291-305.
- Heisele, B., Serre, T. Pretice, S. Poggio, T., 2003, “Hierarchical Classification and Feature Reduction for Fast Face Detection with Support Vector Machines ”, *Pattern Recognition*, 36:2007-2017.
- Hulshoff, R.M., 1995, “Landscape Indices Describing a Dutch Landscape”, *Landscape Ecology*, 10(2):101-111.
- Hsu, L. T., 1996, *Modeling Land Use Change in Human-dominated Landscape*, Ph.D. Dissertation, Purdue univ, West Lafayette in USA.
- Inggs, M. R. and Lord, R. T., 1996, “Interpolation Satellite derived Wind Field Data using Ordinary Kriging, with application to Nadir Gap,” *IEEE Trans. On Geosciences And Remote Sensing*, 34(1):250-256.
- Jensen, J. R., 2004, *Introduction Digital Image Processing (3rd)*, Pearson Education, Inc.
- Johnston, K., Hoef, J. M. V., Krivoruchko, K. and Lucas, N., 2001, *ArcGIS 9: Using ArcGIS Geostatistical Analyst*, New York: ESRI.
- Kremer, H. H., Le Tissier, M. D. A., Burbridge, P. R., McManus, L. T., Rablais, N. N., Parslow, J., Crossland, C. J., and Young, B., 2005, “ Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone : Science Plan and Implementation Strategy”, *IGBP Report No. 24 and IHDP Report No. 18*, Stockholm: International Geosphere-Biosphere Programme.
- Kutiel, P., Cohen, O., Shoshany, M., Shub, M., 2004, “Vegetation Establishment on

- Southern Israeli Coastal Sand Dunes between the Years 1965 and 1999”,
Landscape and Urban Planning, 67:141-156.
- Lin, J. C., 1996, “Coastal Modification Due to Human Influence in South-Western Taiwan”, *Quaternary Science Review*, 15: 895-900.
- Lambin, E. F., Baulies, X., Bockstael, N., Fishcher, G., Krug, T., Leemans, R., Moran, E. F., Rindfuss, R. R., Sato, Y., Skole, D. Tuner II, B. L., and Vogel, C., 1999, “Land-use and Land-cover Change (LUCC) implementation Strategy”, *IGBP Report No. 48 and IHDP Report No. 10*, Stockholm: International Geosphere-Biosphere.
- Levin N. and Ben-Dor, E., 2004, “Monitoring Sand Dune Stabilization along the coastal dunes of Ashodo-Nizanim, Israel, 1995-1999”, *Journal of Arid Environments*, 58:335-355.
- Macucci, D. J., 2000, “Landscape History as a Planning Tool”, *Landscape and Urban Planning*, 49:67-81.
- Maddala, G. S., 1983, “Limited-dependent and Qualitative variable in Econometrics. Ch.2”, *Cambridge University Press*.
- Muller, M. R., and Middleton, J., 1994, “A Markov of Land-use Change Dynamics in Niagara Region, Ontario, Canada”, *Landscape Ecology*, 9:151-157.
- Magurran, A. E., 1988, “Ecological Diversity and Its Measurement”, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 179 pp.
- McMillen, D. P., 1989, “An empirical model of urban fringe land use”, *Land Economics*, 65(2): 138-145.
- McNeill, L., 1994, *Topics in Interpolation and Smoothing of Spatial Data*, PhD thesis, University of Cape Town, South Africa.
- Menard, S., 1995, “Applied logistic regression analysis”, *Quantitative Application in the Social Sciences No. 106*, Sage, London.

- Morton, R. A., Leach, M. P., Paine, J. G. & Cardoza, M. A., 1993, "Monitoring Beach Changes using GPS Surveying Techniques", *Journal of Research*, 9:703-720.
- Montgomery, D.C., and Peck, E. A., 1992, *Introduction to Linear Regression Analysis(2nd)*, New York: John Wiley & Sons.
- Peet, R. B., 1974, "The Measurement of Species Diversity", *Section of Ecology and Systematics*, 5:285-307.
- Pardo-Igúzquiza, E., 1998, "Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography." *International Journal of Climatology*, 18: 1031–1047.
- Schulman, M. D., Zimmerm, C., Danaher, W. F., 1994, "Survival in agriculture: Linking macro- and micro-level analysis", *Sociologia Ruralis*, 34: 229- 251.
- Shen Yan-yan, 袁峰, 張靜, Liu Shu-you, Shen Yan-yan, Yuan Feng, Zhang Jing, Liu Shu-you, 2008, 「矢量平均法測量地面風」, 『氣象水文海洋儀器』: 2008(2).
- Sherman, D. J., 1995, "Problems of Scale in the Modeling and Interpretation of Coastal Dunes", *Marine of Geology*, 124:339-349.
- Shoji, T., 2006, "Statistical and Geostatistical Analysis of Wind: A case study of Direction Statistics", *Computer and Geosciences: Spatial Modeling for Environment and Hazard Management*. 32:1025-1039.
- Turner, M. G., 1990, "Spatial and temporal analysis of landscape pattern", *Landscape Ecology*, 4:21-30.
- Turner II, B. L., Skole, D., Sanderson, S., Fisher, G., Fresco, L., and Leemans, R., 1995, "Land use and land cover change: Science/Research planning", *IGBP Report No.35 and HDP Report No.7*, Geneva: Human Dimension

Programme.

U.S. Environmental Protection Agency(EPA), 2000, “Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications”, EPA-454/R-99-005.

Wise, S. M. and Haining, R. P., 1991, “The role of Spatial Analysis in Geographical Information System”, *Proceeding AGI91*, London, ;Westrade Fairs.3.24.1-3.24.8

Williams, A.T., Alveirinho-Dias, J., Novo, F.G., García-Mora, M.R., Curr, R., Pereira, A., 1995, “Integrated Coastal Dune Management: Checklists”, *Continental Shelf Research*, 21: 1937-1960.

Xie, Z., Xu, X., Yan, L., 2010, “Analyzing Qualitative and Quantitative Changes in Coastal Wetland associated to the Effects of Natural and Anthropogenic Factors in a part of Tianjin, China”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86(3):379-386.

三、網頁部分

營建署全球資訊網站，2008，最新消息-即時新聞：國土利用監測計畫 96 年間測成果及 97 年工作重點。

http://www.cpami.gov.tw/web/index.php?option=com_content&task=view&id=2057&Itemid=15，取用日期，2009 年 12 月 3 日。

經濟部水利署地下水防治資訊網，2003，宜蘭縣地層下陷防治紀實—地層現況。

http://www.water.tku.edu.tw/sub91/frm_gov/ilanindex.htm，取用日期，2010 年 4 月 22 日。

宜蘭縣政府全球資訊服務資訊網，2009，拜訪宜蘭地理環境季風氣候區。

<http://www.e-land.gov.tw/ct.asp?xItem=2269&CtNode=397&mp=4>，取用日期，2010 年 4 月 20 日。

William, R. G., Non-Linear Surface Interpolations: Which Way Is The Wind Blowing? Retrieved March 1, 2010 from **ESRI Paper** on the World Wide Web:

<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papes/pap122/p12>

[2.htm](#)

