

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

應用群集分析於高美濕地保護區的土地使用分區
Application of cluster analysis to division of land utilization in the
protected Kaomei wetland

指導教授：張憲國 博士

研究生：柯又瑞

中華民國一百零二年六月

應用群集分析於高美濕地保護區的土地使用分區

研究生：柯又瑞

指導教授：張憲國 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

國內野生動物保護法雖然規定保護區需依生物特性及保護程度可劃設出核心區、緩衝區及永續利用區三種，以限制人類的活動達到保護區內生態必要的保護；然而，目前尚未有合適的分區劃設方法以供參考。

本文以高美濕地保護區為案例，使用群集分析法將相似歧異度指數及豐度指數區分同等生物特性的區域，建立土地利用的合適的劃設方法。本文使用主要技巧包括：(1)虛擬假設保護區的邊界的生物特性，(2)利用克利金法將各類生物測站的數據內插至網格區，(3)並嘗試數種不同組合的變數藉由群集分析將高美濕地保護區分為三區，(4)再評估所劃設三區的平均物種豐富優劣程度是否依生態重要性的排列及緩衝區須包覆核心區的兩個原則條件。根據上述技術，本文最後選出三種可行的劃設結果

以位置與魚類歧異度變數或位置與蟹類歧異度的兩種變數劃設的分區滿足各區鳥類、魚類、蟹類、植物及底棲動物的平均歧異度與豐富度的優劣及保育稀有動物的多寡的排序原則；但以位置、魚類與蟹類歧異度為變數的區分結果，雖然符合各區各種物種的平均豐富度的優劣排序，然而卻無法滿足保育稀有動物平均數量的排序。本文中以物位置及蟹類歧異度所分區之結果與台中市政府已劃設保護區有 84%面積屬於同一類型。

本文考慮棲地位置、生物多樣性及稀有物種的保育重要性，所提的方法適合來劃設保護區為核心區、緩衝區及永續利用區，兼顧保護區內的生態保護、環境教育與休閒活動的功能。本方法需再應用至其他保護區的土地利用劃設來驗證本方法之可行性。

Application of cluster analysis to division of land utilization in the protected Kaomei wetland

Author: You-Rui Ke

Advisor: Dr. Hsien-Kuo Chang

Department of Civil Engineering National Chiao Tung University

ABSTRACT

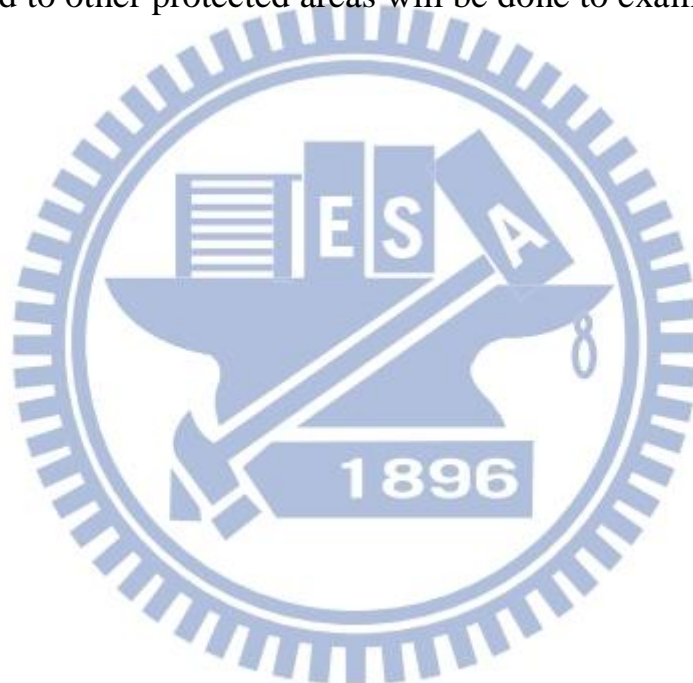
Based on the wildlife conservation law a protection area can be divided into three zones, that are core zone, buffer zone and sustainable use zone, depending on biodiversity and the importance of protected animals or plants to limit human activity for wildlife conservation. However, an applicable methodology is unavailable so far.

The paper investigates a method of dividing zones of alike biota in the Kaomei protected wetland using the cluster analysis. Key techniques are included: (1) virtual boundary condition of species index on the protected zone; (2) the Kriging method for interpolation of Shannon's index of diversity at grid cells; (3) three groups divided by the cluster analysis on the cells for different variables; (4) two criteria for determining valid division. Those are the rank of mean richness index of some kinds of species in each zone and the buffer zone surrounding the core zone. Following the rules of the proposed method three applicable results are obtained.

Using the variables of location and Shannon's index of fish diversity or crab diversity satisfies the criteria and has the required rank of mean Shannon's index of diversity and mean species richness index of bird, fish, crab, plant and benthos and mean number of protected rare species. However, using the variables of location and Shannon's index of fish diversity as well as crab

diversity cannot hold the required rank of mean number of protected rare species. The cells of three divided zones by the present method corresponding with those by Taichung City Government are assembled at an 84 percentage of the whole cells.

Considering the location, species richness and rare species in a protected area the investigation provides an applicable method of dividing the protected area into core zone, buffer zone and sustainable zones for wildlife conservation, environmental education and outdoor recreations. Further application of the proposed method to other protected areas will be done to examine the validity.



誌謝

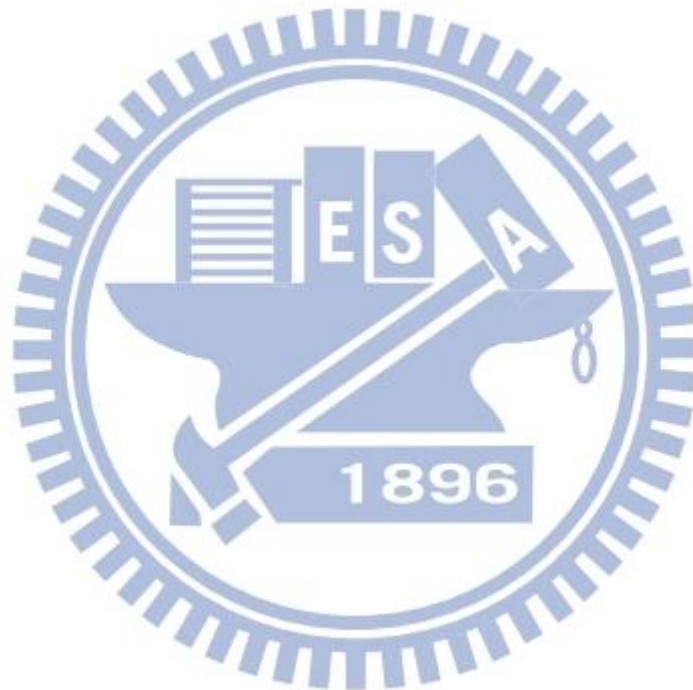
兩年的碩班生活終於結束了，還記得當初剛來到這間研究室，就興致勃勃的替自己立下了一個論文方向。這當中要特別感謝張憲國老師在我的研究上悉心指導，也大力的支持我朝生態的領域前進，無論是在邏輯思考或是簡報能力，在老師的調教之下讓我這兩年學到了很多。另外要特別感謝林幸助老師所提供的生態資料，使我喜愛生態的理念得以實踐。而在論文口試時承蒙張揚祺教授、溫志中教授以及王順寬教授提供的寶貴建議，使論文修正的更趨完善。

接下來要感謝研究室的各位同仁包括鬼鬼、米血、小嬛，有你們這群學長姐讓我碩一生活過得多采多姿，以及我的同學台穎、庭佑，在我的研究上給我很多的幫助，特別是台穎這兩年幫忙我很多，小弟我由衷的感謝你。親愛的學弟們 NONO、安佑、武仁、岳潤，希望你們這一年可以好好加油，有空會再回來找你們打球。最後是勁成、蔚瑋兩位大學長，感謝你們的訓練讓我這兩年的酒量大有進步。

目錄

| | |
|------------------------|------|
| 摘要 | I |
| ABSTRACT..... | II |
| 誌謝 | IV |
| 目錄 | V |
| 圖目錄 | VII |
| 表目錄 | VIII |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 1-1 研究動機與目的..... | 1 |
| 1-2 文獻回顧 | 3 |
| 1-3 文章架構 | 4 |
| 第二章 高美濕地的現有保護區劃設..... | 5 |
| 2-1 濕地的定義及分類..... | 5 |
| 2-2 高美濕地的生物環境介紹 | 6 |
| 2-3 保護區的定義..... | 7 |
| 2-4 保護區的分區原則..... | 7 |
| 2-5 高美濕地現有的保護區劃設 | 8 |
| 第三章 研究方法..... | 10 |
| 3-1 K-means 法 | 10 |
| 3-2 一般克利金法..... | 11 |
| 3-2-1 推估值 | 11 |
| 3-2-2 克利金系統方程式..... | 12 |
| 3-2-3 半變異數 | 14 |
| 3-2-4 理論半變異模式..... | 15 |
| 3-3 生物指標及稀有物種選取 | 17 |
| 第四章 保護區的分區劃設 | 19 |
| 4-1 保護區邊界的虛擬測站 | 19 |

| | |
|-------------------------|----|
| 4-2 群集分析分類..... | 21 |
| 4-3 依不同變數的分區..... | 22 |
| 4-4 與台中市政府已劃設分區的比較..... | 26 |
| 第五章 結論..... | 28 |
| 參考文獻..... | 29 |
| 附錄 A 虛擬測站數據的設置試作過程..... | 32 |
| 附錄 B 群集變數的設置試作過程..... | 34 |
| 附錄 C 高美濕地稀有生物的特性介紹..... | 39 |



圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖 1-1 台灣野生動物保護區位置圖 (資料來源： http://econgisdw.forest.gov.tw/Download/book/1/4)..... | 2 |
| 圖 2-1 高美濕地位置圖(資料來源:Google Earth)..... | 6 |
| 圖 2-2 台中市公告高美濕地的保護區範圍(資料來源:臺中市政府網站)..... | 9 |
| 圖 3-1 試驗半變異圖..... | 15 |
| 圖 3-2 三種常用的理論半變異模式..... | 16 |
| 圖 4-1 本文劃設高美濕地保護區範圍的網格圖..... | 19 |
| 圖 4-2 虛擬測站(紅線、黑線)及魚類測站(綠色方格)的位置圖..... | 20 |
| 圖 4-3 虛擬測站(紅線、黑線)及四類生物測站(綠色方格)的位置圖..... | 20 |
| 圖 4-4 依位置與魚類歧異度變數的分區劃設圖..... | 22 |
| 圖 4-5 依位置與蟹類歧異度變數的分區劃設圖..... | 23 |
| 圖 4-6 依位置與魚類、蟹類歧異度變數的分區劃設圖..... | 23 |
| 圖 4-7 本文劃設與台中市政府公告之分區範圍 (紅色:核心區、綠色:緩衝區、灰色:永續利用區)..... | 27 |
| 圖 4-8 上圖中兩者劃設分區的等級差異 (紅色:2、藍色:1、橙色:0)..... | 27 |
| 圖 A-1 虛擬測站(紅線、黃線、黑線)及鳥類測站(陸域:綠色方格, 海域:紅色 方格)的位置圖..... | 32 |
| 圖 A-2 虛擬測站(紅線)及魚類測站(綠色方格)的位置圖..... | 33 |
| 圖 A-3 依位置與鳥類歧異度變數的分區劃設圖..... | 33 |
| 圖 B-1 依位置與鳥類豐度變數的分區劃設圖..... | 34 |
| 圖 B-2 依位置與鳥類歧異度變數的分區劃設圖..... | 35 |
| 圖 B-3 依位置與鳥類、魚類歧異度變數的分區劃設圖..... | 35 |
| 圖 B-4 依位置與鳥類、魚類豐度變數的分區劃設圖..... | 36 |
| 圖 B-5 依位置、魚類歧異度、稀有動植物個體數變數的分區劃設圖..... | 37 |
| 圖 B-6 依位置、蟹類歧異度、稀有動植物個體數變數的分區劃設圖..... | 37 |
| 圖 B-7 依位置、魚類、蟹類歧異度、稀有動植物個體數變數的分區劃設圖 | 38 |

表目錄

| | |
|---|----|
| 表 3-1 野生動物的保育等級..... | 18 |
| 表 4-1 座標及各類生物的歧異度間的相關係數絕對值..... | 21 |
| 表 4-2 依不同變數所劃分保護區的分區面積(單位:公頃)..... | 24 |
| 表 4-3 依不同變數的分區及物種在各分區內的平均歧異度(標準偏差)..... | 24 |
| 表 4-4 依不同變數的分區及物種在各分區內的平均豐度(標準偏差)..... | 25 |
| 表 4-5 依不同變數的分區及在各分區內的稀有物種平均個體數 (標準偏差)..... | 25 |
| 表 4-6 本文兩種保護區與台中市政府公告保護區的分區面積比較 (單位：公頃)..... | 26 |
| 表 B-1 依不同變數的分區及蟹類在各分區內的平均歧異度(標準偏差)..... | 36 |
| 表 B-2 依不同變數的分區及物種在各分區內的平均歧異度(標準偏差)..... | 38 |



第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

台灣四面環海且在潮汐作用之下形成許多沿海濕地，這些濕地不但具有淨化水質、調節洪水、涵養水源及保育生態等多方面功能，更是鳥類、魚類及底棲動物繁衍及棲息的據點。

濕地近年來由於經濟開發以及地狹人稠的壓力導致濕地被大量改建為漁港、工業區及都市區域，使得臺灣的生態環境遭受嚴重的破壞，許多重要的動物生息地逐漸減少或消失殆盡，因此給予生態保育重大的衝擊。有鑑於濕地的利益及多樣功能，環保團體及政府逐漸重視濕地的保育。為推動我國濕地保育工作，內政部自民國 96 年起開始推動國家重要濕地的評定及劃設作業，迄今已劃設 82 處國家重要濕地，總面積達 56,865 公頃，其中包括國際級濕地 2 處、國家級濕地 40 處及地方級濕地 40 處。

為了使濕地及其棲地中的野生動物獲得更完善的保護，最有效的方法為依據野生動物保育法劃設野生動物保護區。其劃設的方法是由地方政府根據當地特有的棲地或生物作為主要保護目的進行劃分，如台中高美野生動物保護區及台南曾文溪口北岸黑面琵鷺動物保護區以保護當地鳥類及溼地為主要目的。目前台灣已劃定的野生動物保護區如圖 1-1 所示。

1971 年聯合國教科文組織在「人與生物圈計畫」中提出了生物保護區的概念，並主張典型的生物保護區在空間結構上應包含三種功能區。此外施義哲(2002)說明海洋保護區在管理上須依照保護目的劃定不同保育程度的分區進行管理。野生動物保護區即是以此概念進行分級分區的管理方式，因此可將保護區劃分成核心區(core zone)、緩衝區(buffer zone)及永續利用區。此方式可將棲地內的重要物種劃定於核心區中，並制訂法律規範使該區域受到嚴格的保護。而緩衝區為包覆在核心區的外圍的區域，主要功能為緩衝核心區受到人為的直接侵害。如何做到不浪費資源並使該生態環境受到

完善的保護，其中牽涉到各分區的面積大小該以什麼方法劃定。

高美濕地是國內知名的濕地之一，因多變的地形環境造就了濕地內的生物多樣性。瀕臨絕種的台灣特有植物「雲林莞草」在高美濕地具有全台的最高族群分布，也因此成為濕地的特點。此外棲地中的鳥類更多達一百餘種，每逢冬夏之際可看到候鳥的蹤跡。近年來高美濕地的知名度大增，因而成為眾多遊客戲水抓蟹的熱門景點，不僅對當地生物造成負面的影響，也因為殘留下的垃圾對棲地環境造成破壞。

國內目前對於保護區的分區劃定主要是由地方政府及專家根據棲地中的重要物種進行劃定，其劃定的方法尚未有準則可依據。因此本文應用群集分析(cluster analysis)將相似觀察體分成同一類的特性來劃設保護區的分區，可將同性質的區域分為同類，則不同性質的區域會分成不同類。依照此概念可提供一個具學理性的方法進行保護區的分區劃設。

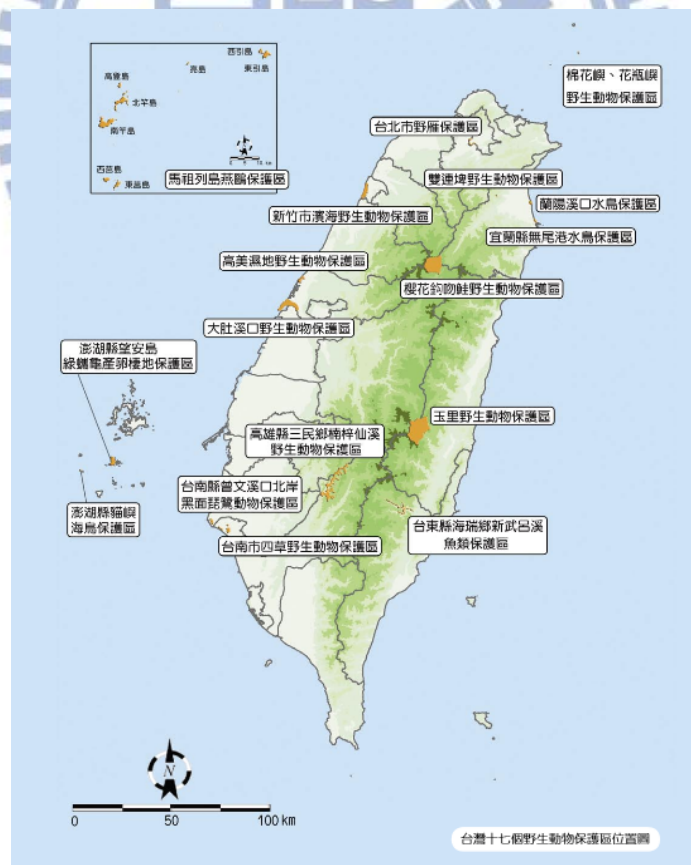


圖 1-1 台灣野生動物保護區位置圖(資料來源：
<http://econgisdw.forest.gov.tw/Download/book/1/4>)

1-2 文獻回顧

自民國 80 年起國內已有野生動物保護區的劃設實例，其中利用分區(核心區、緩衝區及永續利用區)來進行管理的方法，在施義哲(2002)中有提到此方法與海洋保護區(Marine Protected Areas, MPA)的分區概念是相同的，劃設保護區之目的是把保護區當成一種管理工具，並用此來保護當地特殊的物種或棲地環境，在國際上已經是一種趨勢。沈政翰(2011)以國內外的保護區文獻為準則，並運用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)對龜山島進行保護區劃設，其中針對熱泉資源、鯨豚資源及漁業資源作為主要保護目的，並分別對於三種不同的保護目的進行分析，再藉由分析結果模擬不同的劃設方式。

本文選用群集分析將高美濕地保護區劃定為三個分區，而群集分析是根據觀察體間的相似性，將觀察體分成若干個群集，使同一群內的觀察體具有高度相似性，而不同群集間的觀察體具有高度相異性，一般可分為階層式及非階層式兩種。Ward (1963)提出的華德法為階層式群集分析法，在生態上的應用有陳俊杰(2005)以華德法探討港灣結構物周邊底棲生物的群集特性。而MacQueen (1967)提出的K-means為非階層式群集分析法。張維仁(2003)應用群集分析法於大安溪事業區的林地分類，其中使用階層式之華德法與非階層式之 K-Means 法做同質性的歸群，最後根據各群所占有的比例來定位各林區之分類適宜性。階層式群集分析的優點是可以合理判斷分群的數目，但本文目的是將保護區劃成三個分區，利用階層式群集分析不一定會將觀察體分為三群，因此本文選擇可決定群集數目的K-means作為分區的方法。

群集分析進行時須先建立區域中所有格網點的資料，實際上因實測點位往往有限，所以須藉由內插(interpolation)方法補足未有測點的網格資料。在生態統計分析的內插常使用克利金法(Kriging method)，如李奕迪(2007)以指標克利金法(indicator Kriging)推估荖濃河流域之植群空間分布；陳俊德(2008)以一般克利金法(ordinary Kriging)補遺研究區域中缺漏的生物資料，

並以整數規劃法(Integer Programming, IP)建立空間分析模式來劃設保護區；Maier et al. (2005)使用通用克利金(universal Kriging)推估阿拉斯加的麋鹿數量；Monestiez (2006)以一般克利金法推估地中海之鯨魚分佈；Stelzenmüller (2007)以通用克利金法推估魚群分布並運用於管理海洋保護區上。

克利金法已被發展成幾種形式，常見的有簡單克利金法(simple Kriging)、一般克利金法及通用克利金法。Lefohn et al. (2005)提出通用克利金適用於資料具有趨勢(trend)的情況。葉和鄭(1999)說明使用簡單克利金法須先知道隨機變數(random function)之期望值，或是該期望值可由樣本推估；然而一般克利金不需計算隨機變數之期望值，只須知道共變異數(covariance function)或半變異數(semivariance)即可進行推估，使得一般克利金法在運用上較簡單克利金法廣泛。本文的測站數據較少，沒有針對數據的趨勢加以探討，因此假設數據不具有趨勢，選用的內插法為一般克利金法。

1-3 文章架構

本文以群集分析法將高美濕地保護區進行分區劃設，並依照五個章節來說明保護區的概念、群集分析之流程、克利金內插法及最後依不同群集變數所劃分出的結果。

第一章緒論說明本文之研究動機及目的，文獻回顧則引述前人對國內保護區的探討，以及群集分析法、克利金內插法如何被運用在生態上，最後說明本研究之文章架構。關於國內濕地的定義與保護區的分區概念，以及高美溼地現有的保護區劃設，本文於第二章作簡述。

本文第三章介紹群集分析的流程以及克利金法的基本原理。本文使用兩種生物多樣性指標進行生物多樣性分析，以及依據農委會林務局公告的野生動物保育名錄選取稀有物種。

在第四章中說明如何設置虛擬測站來提高內插數值的精確度，最後依照本文制訂的標準選出符合的三種保護區結果，並於第五章作總結。

第二章 高美濕地的現有保護區劃設

2-1 濕地的定義及分類

濕地(wetland)是陸域與水域的過渡地帶。然而，水域、陸地及濕地之間沒有明確區分，因此有很多不同的定義。原則是依據拉姆薩濕地公約(Ramsar Convention)為準，採用濕地定義為：「不論天然或人為、永久或暫時、靜止泥沼(fen)、泥煤地(peat land)或水域所構成之地區，包括低潮時水深 6 公尺以內之海域。」為了制定符合國內濕地類型的標準定義，內政部營建署於 2012 年 8 月 23 日濕地法草案修正拉姆薩公約對濕地的定義為：「天然或人為、永久或暫時、靜止或流動、淡水或鹹水或二者混合之沼澤、泥沼、泥煤地、瀉湖或水域所構成的區域。但海域部分以最低低潮位為限。」修正後可將瀉湖型的濕地劃入，對於台灣沿岸的地理特性而言，此定義較為合適。

濕地依據不同的標準，可分為幾種類型，原則上是以形成的因素、植物類型、地理區位及地質環境進行分類，如內政部營建署劃分國家重要濕地，將台灣的濕地分為海岸自然濕地、內陸自然濕地及人為濕地三種。若以地理區位分類時可將濕地分為海岸及內陸濕地，若以形成因素分類時，可分為自然或人為營力所形成的濕地。其中也有非完全自然營力所形成的濕地類型，如曾文溪口濕地被歸類為海岸自然及部份人為濕地。

另外有國內學者邱文彥等(1998)針對不同的植物類型、地理區位、地質特性及形成因素（如火山作用）定義出七種類型的濕地：

1. 河口、紅樹林與海埔地 (estuary, mangrove and tidal flat)。
2. 洪水平原與三角洲 (flood plain and delta)。
3. 淡水草澤 (freshwater marsh)。
4. 湖泊 (lake)。
5. 泥煤地 (peatland)。

6. 林澤 (forested wetland)。
7. 人工濕地 (constructed wetland)。

2-2 高美濕地的生物環境介紹

高美濕地目前被列為國家級的重要濕地，屬於海岸自然濕地，位於台中市清水區，如圖 2-1 所示，北臨大甲溪出海口，面積約為 701 公頃。由於大甲溪上游沖刷下來的泥沙含有豐富的有機質，是濕地植物的營養來源，所以此區植物種類繁多，且為全台最大面積的雲林莞草草澤，不僅提供候鳥覓食與棲息，亦是造就濕地生物多樣性的主因。

濕地內包含草澤、沙地、碎石、泥灘及溪流等多種不同棲地類型，因此孕育出生物多樣性的環境。而濕地內生物種類複雜，包含鳥類、蟹類、魚類、植物及底棲動物等，其中鳥類更多達一百餘種，八哥、小燕鷗、紅隼及黑嘴鷗被列為珍貴稀有的鳥類。



圖 2-1 高美濕地位置圖(資料來源:Google Earth)

1996 年因火力發電廠的興建砍伐了在高美濕地的數萬棵木麻黃，此事件引起當地居民及環保團體極力反對。然而發電廠因資金周轉問題無法繼續施作，高美濕地因而免於生態破壞的危機。事後當地居民重視高美濕地

的生態保育，並積極推動高美濕地的野生動物保護區。

2-3 保護區的定義

國際自然保育聯盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)定義保護區為一個透過法律或其他有效方式來保護生物多樣性與管理自然和文化資源的陸域及海域。針對海洋保護區(Marine Protected Area, MPA)，國際自然保育聯盟(1999)定義海洋保護區為藉由法律或其他有效方法保護潮間帶和亞潮帶所覆蓋水域內的水體、動植物、歷史及文化特徵。

野生動物保育法第十條中提到有關野生動物保護區的分區劃設及管理，是來自海洋保護區的分區概念。海洋保護區的劃設方法是依照三個保育等級，將保護區分成三個區域，分別是核心區、緩衝區及永續利用區。各區的人為活動限制如下所述：

核心區是依據明確的保護目的將保護的物種劃分在區域內，並使該區域受到嚴格的保護。區域範圍內是未受人為干擾或僅受到最低限度人為干擾的生態區域，主要目的是為了維持區域內的生物多樣性，故此區域通常不對外開放。

緩衝區是為了使核心區受到嚴格保護所劃分的區域，其功能為環繞在核心區的外圍緩衝核心區受到人為的直接侵害，但是緩衝區在人為活動的限制上沒有核心區嚴謹，所以可以進行少量不影響保護區環境的活動。在保護區內沒有針對核心區及緩衝區作數量上的限制，因此可劃設多個核心區及緩衝區。

永續利用區是包覆在核心區與緩衝區外圍的區域，是保護區中限制最少的區域，通常可以對外開放。如台中市政府所規劃的永續利用區，在不破壞當地生態前提下可以允許當地漁民的捕撈行為。

2-4 保護區的分區原則

一個保護區劃設的成功與否，關鍵在於分區劃界。不同國家對核心區

與緩衝區分區劃界沒有一定標準，基本上保護區範圍須寬闊到足以涵蓋保護目標，但不能大到難以實際執行，分區原則包括：(施義哲，2002)

1. 劃設的區域可永久維持保護區的保育。
2. 在區域內可以對具重要性或代表性的棲地、生態系提供保護。
3. 在特定的區域內可以分隔或減緩人為活動的衝突。
4. 在允許人為活動的合理使用範圍內，維護保護區的自然生態或文化特色。
5. 對特殊的人為使用保留適當的區域，且盡量避免人為活動對重要區域的影響。
6. 在特定的區域內除了科學研究或教育目的外，應避免人為的干擾。

2-5 高美濕地現有的保護區劃設

2004年9月29日台中市政府正式公告高美濕地為野生動物保護區，保護區範圍以大甲溪出海口北岸作為北邊界線，東邊界線為西濱快速道路西側沿清水區堤防往下延伸，經番仔寮海堤、高美一號、二號海堤等，南邊界線為台中港北防沙堤，面積約為701.3公頃如附錄一所示，以下為三個分區的範圍。

1. 核心區:由番仔寮海堤、高美一號海堤及高美二號海堤往左側延伸400公尺之草澤區域如附錄一所示，其中解說半島通往永續利用區的草澤地區及越戰美軍戰備油管道區域不列入核心區範圍。核心區面積約105.2公頃，占保護區總面積15%。
2. 緩衝區:由核心區往外延伸100公尺之區域如附錄一所示，其中解說半島通往永續利用區無草澤地區及越戰美軍戰備油管道區域不列入緩衝區範圍。緩衝區面積約26.5公頃，占保護區總面積3.78%。
3. 永續利用區:在保護區範圍內，核心區及緩衝區以外無草澤之地區，永續利用區面積約569.6公頃，占保護區總面積81.22%。



圖 2-2 台中市公告高美濕地的保護區範圍(資料來源: 臺中市政府網站
<http://searchg2.taichung.gov.tw:8080/searchg2-frontend/wSite/Control>)

第三章 研究方法

3-1 K-means 法

群集分析是一種數值分類法，主要使用一組計量資料，計算各觀察體的相似或相異性，然後用各種標準將觀察體劃分成數個群集，期望分類後同群內的觀察體具有高度相似性，而分在不同群集間的觀察體具有高度相異性。本文採用的群集分析方法為 K-means 法，

K-means 是 MacQueen (1967)提出的一種非監督式學習(unsupervised learning)演算法，在事先並不知道樣本資料屬於何種類別的情況下，仍然可以將樣本資料依照所指定的群數進行分類，並使得每群的資料與該群集中心的距離平方總合，盡可能達到最小。其步驟如下：

1. 將所有樣本分成 k 個群集，此 k 個群集重心稱為「種子點」。
2. 計算每個觀察體到各群集重心的距離，並將其分派到最近的一群，再重新計算得到新樣本群集和失去該樣本群集之新重心。
3. 重複步驟 2，直到無法重新分派為止。

在進行群集分析法前須先檢查變數間的相關性，以避免變數間的加權造成結果偏差。因為變數間的單位通常不會一致，因此在進行分析前必須先將變數正規化使變數間具有相同的單位，最後再選擇變數進行分析，其分析流程如下所示：

1. 檢查變數間的相關性

Wuder (2002)建議若兩變數間的相關係數絕對值超過 0.80 時，則表示變數間具有高度相關，應予以刪除。因群集分析的資料不需具有常態性及直線性等假定，但變數間的複共線性(multicollinear)會影響分析結果，其中複共線性是指當兩變數間有非常高的相關(相關係數 >0.80)。因為具有複共線性的變數會有較大權重，所以進行群集分析之前，須檢查變數之間的相

關性。

2. 變數的正規化

由於變數之間的單位通常不會一樣，但群集分析是根據變數來計算觀察體間的相似性或相異性，如果變數間的單位不一致可能造成偏差的結果，如 100 公尺與 10 隻生物是屬於兩種不同單位，如果要放在一起分析時會造成不相等的加權，因此在分析過程中須將變數加以正規化，使其有共同的單位。

3. 變數的選擇

群集分析的結果會受到所選變數的影響，若採用不同的變數就會產生不同的分類結果。因此在進行群集分析前，應先考慮使用什麼變數當成分類的依據。假設以身高、體重等變數將學生分類，結果可分為男生與女生；如果用成績、學習策略又可得到不同結果。由上述例子可知變數的選擇是影響分類結果的重要因素。

3-2 一般克利金法

3-2-1 推估值

由於測站會受到人力、經費、地形及地物等因素的限制，導致測站數量有限或集中於某範圍。因此必須先將研究區域切成網格後，再使用內插方法推估網格無數據的結果。本文採用內插的方法為一般克利金法。

克利金法最早是由法國地質學家 G. Matheron 所提出的地質統計概念，並定義地質統計是以隨機函數推估自然現象的應用。地質統計學中是以區域化變數理論探討自然資源在空間中的分佈，假設 x 為空間中的一點，與 x 點對應的變量 $Z(x)$ 定義為區域化變數(regionalized variable)，自然界的空間變量如降雨量、空氣汙染量及生物量都可視為區域化變數。

一般克利金法為修正簡單克利金法。簡單克利金的假設為: Davis (2002)

1. 估計值是由區域中的區域化變數 $Z(x)$ 所推估的。
2. 區域化變數符合二階定常性(second-order stationary)，故其平均值、共變異數及半變異數與兩點 x 的相對距離有關。
3. 區域化變數平均值為一已知常數 m 。

簡單克利金推估式如(3-1)式所示：

$$Z^*(x_0) = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i) - m] \quad (3-1)$$

其中 $Z^*(x_0)$ 為估計值(estimator)， m 為平均值， λ_i 為對應 $Z(x_i)$ 之權重， $Z(x_i)$ 表示在 x_i 點上之實測值， n 為實測點的個數。

一般克利金法與簡單克利金法的差別在一般克利金法假設區域化變數平均值 m 為一未知常數。其推估式如(3-2)式所示：

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

通用克利金法適用於資料呈現某種趨勢(trend)的情況，可將區域化變數假設為下式：

$$Z(x) = m(x) + r(x) \quad (3-3)$$

其中 $m(x)$ 為隨空間變化的趨勢且 $m(x) = E[Z(x)]$ ， $r(x)$ 為不規則變動值。上式中的 $m(x)$ 可表示為一階的(3-4)式及二階的(3-5)式。

$$m(x) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n (\alpha_1 x_{1,i} + \alpha_2 x_{2,i}) \quad (3-4)$$

$$m(x) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n (\alpha_1 x_{1,i} + \alpha_2 x_{2,i} + \alpha_3 x_{1,i}^2 + \alpha_4 x_{2,i}^2 + \alpha_5 x_{1,i} x_{2,i}) \quad (3-5)$$

其中 α 為未知的趨勢係數， x 為區域中的座標。

3-2-2 克利金系統方程式

克力金法具有最佳線性不偏估特性(Best Linear Unbiased Estimator,

BLUE)，即分析過程中符合以下三個假設條件。

1. 線性:估計值為實測值的線性組合

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3-6)$$

其中 $Z^*(x_0)$ 表示估計值， $Z(x_i)$ 表示在 x_i 點上之實測值， λ_i 表示對應 $Z(x_i)$ 之權重， n 表示實測點的個數。

2. 不偏估性:估計值之期望值等於實測值之期望值

$$E[Z^*(x_0)] = E[Z(x_0)] \quad (3-7)$$

3. 最佳化:估計值與實測值相減取變異數後取其最小值

$$\min\{\text{var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)]\} = E\{[Z^*(x_0) - Z(x_0)]^2\} \quad (3-8)$$

將(3-6)式代入(3-7)式整理後可得(3-9)式。

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3-9)$$

將(3-6)式代入(3-8)式並引入半變異數可得(3-10)式。

$$E\{[Z^*(x_0) - Z(x_0)]^2\} = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(h_{ij}) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(h_{i0}) \quad (3-10)$$

其中 $\gamma(h_{ij})$ 為相對距離 h_{ij} 所對應的半變異數， h_{ij} 為兩實測點 x_i 與 x_j 的相對距離， h_{i0} 為實測點 x_j 與未知點 x_0 的相對距離。引入 Lagrange 參數 μ ，並以 Lagrange 函數表示可得(3-11)式。

$$L = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(h_{ij}) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(h_{i0}) - 2\mu \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) \quad (3-11)$$

對 λ_i 及 μ 取偏微分並令其微分式為零可得克力金系統方程式(Kriging system equation)如(3-12)式、(3-13)式所示。

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(h_{ij}) + \mu = \gamma(h_{i0}), i = 1, 2, \dots, n & (3-12) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 & (3-13) \end{cases}$$

以矩陣表示可得(3-14)式。

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \dots & \gamma(h_{1n}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \dots & \gamma(h_{2n}) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & 1 \\ \gamma(h_{n1}) & \gamma(h_{n2}) & \dots & \gamma(h_{nn}) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{10}) \\ \gamma(h_{20}) \\ \vdots \\ \gamma(h_{n0}) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-14)$$

將(3-12)式代入(3-10)式可得(3-15)式。

$$\sigma_k^2 = \text{var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(h_{i0}) + \mu \quad (3-15)$$

其中 σ_k^2 為克力金估計變異數。由克力金系統方程式可求得權重 λ_i ，將權重帶回(3-6)式與(3-15)式可求得估計值及對應的克力金估計變異數(Kriging estimated variance)

使用克利金法時必須藉由分析半變異圖(semi-variogram)來推估未知點的數值，其詳細介紹如 3-2-3 所述。

3-2-3 半變異數

半變異數代表實測資料的空間變異情況，由實測資料計算的半變異數稱為試驗半變異數(experimental semivariance)，定義如下式

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3-16)$$

其中 x 為空間上的座標， $Z(x_i)$ 為 x_i 點的實測值， h 為 $Z(x_i)$ 與 $Z(x_i+h)$ 的相對距離， N 為在特定距離 h 時任意兩實測點的配對數(Pairs)。在半變異數分析

的過程中會對區域內的實測點任取兩點進行配對，因此會產生一組配對數。由 $r(h)$ 及 h 的關係可以繪出半變異圖，如圖 3-1 所示。

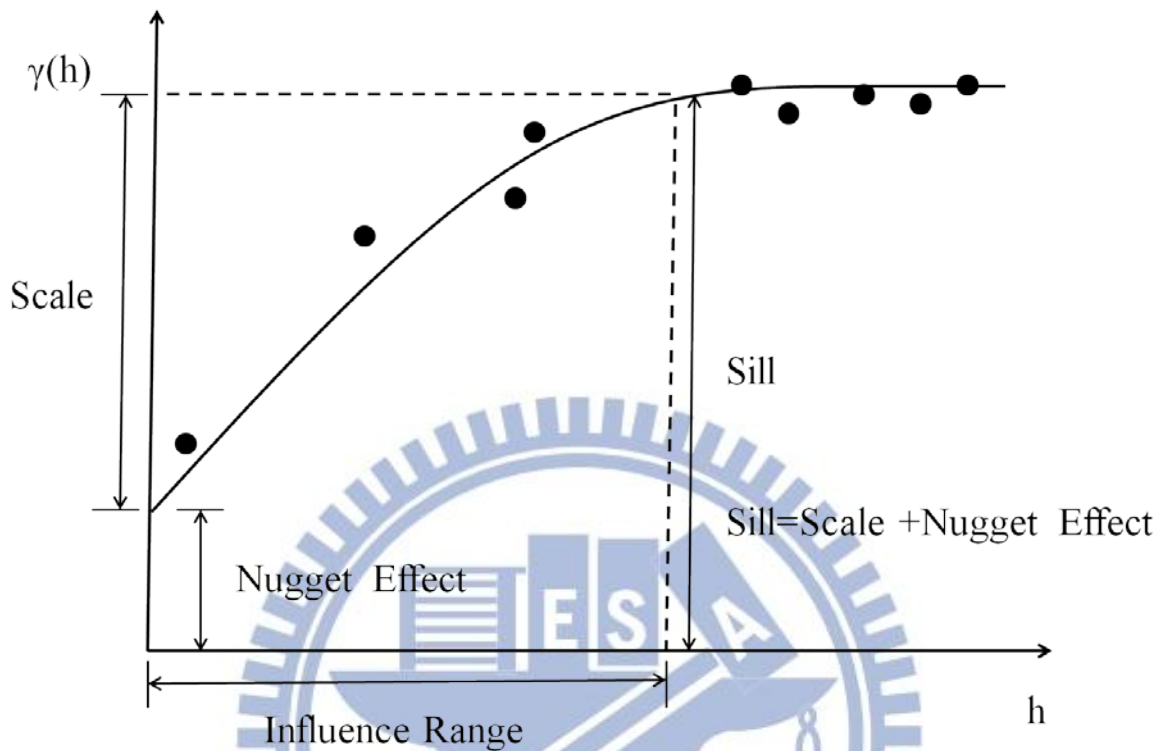


圖 3-1 試驗半變異圖

由圖 3-1 可知試驗半變異數呈現散亂的分佈，而圖中的曲線函數表示散亂點的分佈趨勢。

試驗半變異數會隨著 h 的趨勢逐漸變小或變大，當 $h=0$ 時， $r(0)=0$ ，但在應用上常會出現 $r(0) \neq 0$ 的情況，此現象稱為碎塊效應(nugget effect)。當 h 逐漸增加達到某一範圍時，變異數會趨於一個穩定值，此定值稱為臨界變異值(sill)，而臨界變異值所對應到的 h ，稱為影響範圍(influence range)。由圖可知臨界變異值是規模值(scale)與碎塊效應的總和。

3-2-4 理論半變異模式

理論半變異數在半變異圖中是呈現散亂的分佈，所以在分析上會採用

理論半變異模式(variogram model)對散亂點進行擬合(fitting)。通常採用試誤法來選取符合理論半變異數分佈趨勢的模式，以下是 3 種常用的理論半變異模式，如圖 3-2 所示。

1. 球形模式(spherical model)

$$\begin{cases} r(h) = C_0 + C[1.5(h/a) - 0.5(h/a)^3] & \text{for } 0 < h \leq a \\ r(h) = C_0 + C & \text{for } h > a \end{cases} \quad (3-17)$$

影響範圍 = a

2. 高斯模式(Gaussian model)

$$r(h) = C_0 + C(1 - \exp(-h/a)^2) \quad (3-18)$$

影響範圍 = $\sqrt{3}a$

3. 指數模式(exponential model)

$$r(h) = C_0 + C[1 - \exp(-h/a)] \quad (3-19)$$

影響範圍 = $3a$

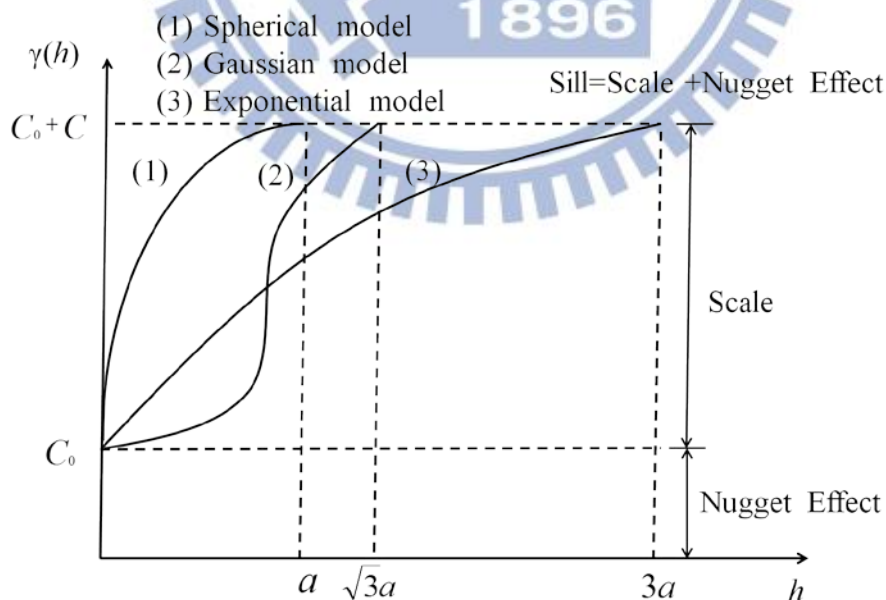


圖 3-2 三種常用的理論半變異模式

本文是以標準化克利金平均誤差(Standardized Kriging Average Error, SKAE)趨近於 0 及標準化克利金變異數(Standardized Kriging Variance, SKV)趨近於 1 為準則，採用試誤法選取合適的理論半變異模式。

$$1. SKAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i^* - Z_i}{\sigma_i} \right) \quad (3-20)$$

$$2. SKV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Z_i^* - Z_i)}{\sigma_i} \right]^2 \quad (3-21)$$

其中 n 為實測點數目， Z_i^* 為第 i 個測站之估計值， Z_i 為第 i 個測站之實測值， σ_i 為克利金估計變異數(Kriging estimation variance)。

本文蟹類及底棲動物內插時選用的理論半變異模式為高斯模式，而鳥類、魚類及植物選用指數模式。

3-3 生物指標及稀有物種選取

本文生物資料來自「高美濕地生態系承载力研究計畫」(謝蕙蓮及林幸助)，其採樣時間為 2006 年 6 月至 2007 年 7 月，採樣的物種有鳥類、魚類、蟹類、藻類及底棲動物。本文在資料處理上選用兩個生物多樣性指標作為保護區的分區(核心區、緩衝區、永續利用區)標準，其介紹如下：

1. 夏儂歧異度指數(Shannon's index of diversity, H')

表示一群聚內生物種類的豐富程度及個體數在物種間分配是否均勻。數值愈大表示該測站有較豐富的種類，亦表示該測站具有高度生物多樣性，通常簡稱為 H' 。

$$H' = - \sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \quad (3-22)$$

其中 n_i 為該測站第 i 種生物之個體數， N 為該測站所有生物之總個體數。

2. 豐度指數(Species Richness index, SR)

表示群聚內生物種類的豐富情形，數值愈大則反映群聚內的生物種類數愈多。

$$SR = \frac{(S - 1)}{\ln N} \quad (3-23)$$

其中 S 為該測站之生物種類數， N 為該測站所有生物之總個體數。

本研究預期劃設之核心區域應具有保育稀有動物的功能，首先將高美濕地稀有動物的個體數做加總後進行內插，然後針對個體數探討稀有動物在保護區中的分布情況。其中選取的稀有動物是以農委會林務局自然保育網 (<http://conservation.forest.gov.tw/ct.asp?xItem=44417&ctNode=631&mp=10>) 中的野生動物名錄為依據，其保育等級見表 3-1。

表 3-1 野生動物的保育等級

| 保育等級 | |
|------|-------------|
| I | 瀕臨絕種的野生動物 |
| II | 珍貴稀有的野生動物 |
| III | 其他應予保育的野生動物 |

因本研究所使用的資料中沒有保育等級 I 的物種，所以僅選取保育等級 II 的八哥、紅隼、黑嘴鷗及小燕鷗，以及保育等級 III 的大杓鷗。以上稀有物種之特性介紹可見附錄 C。

第四章 保護區的分區劃設

4-1 保護區邊界的虛擬測站

因台中市政府劃設的高美濕地保護區為 701 公頃，故本文將研究區域切成 701 個網格，每格大小為 100m×100m 如圖 4-1 所示。

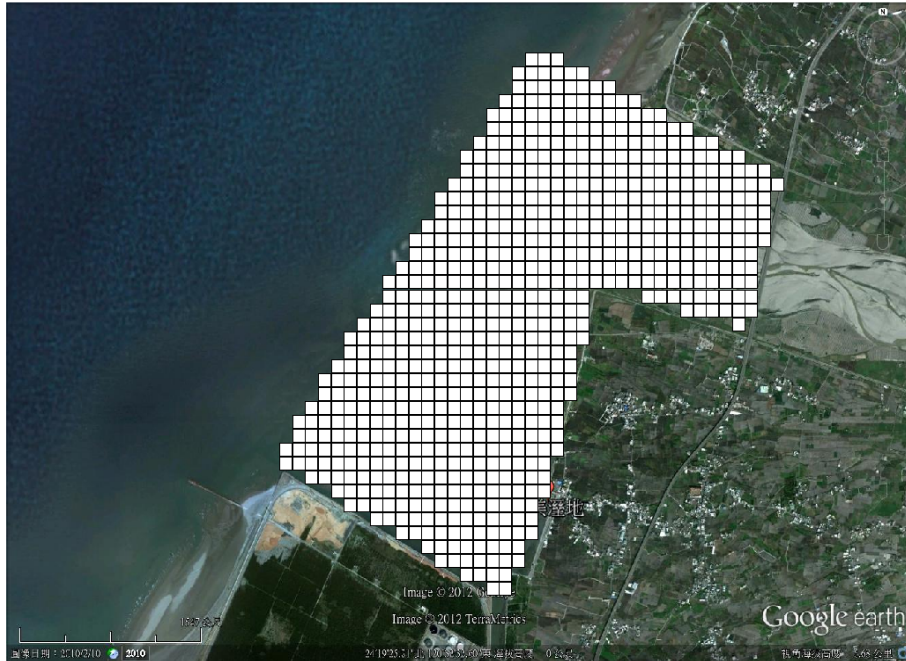


圖 4-1 本文劃設高美濕地保護區範圍的網格圖

由於保護區內的生物測站數目過少且多數的測站位於海堤附近，因此使用克利金法時會造成數據是由外插所產生的結果。由於外插的數據不具精確度，故本研究在劃設區域外圍設置一圈虛擬測站(unreal station)，利用外圍的虛擬測站使區域內的數據都是由內插所產生的結果，藉此提高數值的準確度。

圖 4-2 是虛擬測站及魚類測站的位置圖，圖中的綠色方格表示魚類的測站位置，而紅色線條及黑色線條表示虛擬測站的分佈位置，因魚群活動範圍大多位於海域，故本文將位於陸域的虛擬測站生物數據設置為零，並以黑色線條表示；而紅色線條表示位於海域的虛擬測站位置，其給定的生物數據以魚類測站中歧異度最小的測站數據進行設置。



圖 4-2 虛擬測站(紅線、黑線)及魚類測站(綠色方格)的位置圖

本文設置的虛擬測站與其他生物測站位置圖，如圖 4-3 所示。因鳥類的活動範圍及植物分佈大多以陸域為主，故以黑色線條表示數據為零的虛擬測站；而紅色線條是以各自種類測站中歧異度最小的測站數據進行設置。蟹類及底棲動物的活動範圍大多位於海堤附近的泥灘地，故僅在保護區外圍設置黑色線條的虛擬測站，其給定數據為零。

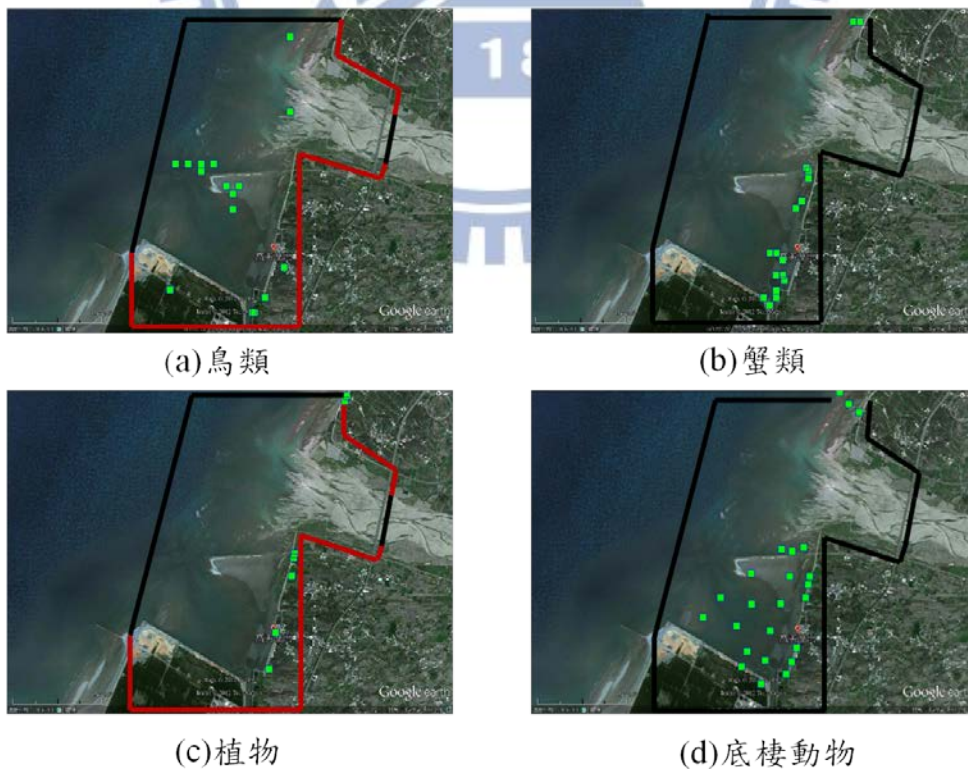


圖 4-3 虛擬測站(紅線、黑線)及四類生物測站(綠色方格)的位置圖

關於虛擬測站數據設置以及群集變數設置的試作過程，可見附錄 A 及附錄 B。

4-2 群集分析分類

本文使用群集分析法將內插後的生物數據分成三類，並藉由三類的數據可將保護區劃成三個分區。由本文第三章可知，群集分析的流程分為探討變數的相關性、變數的正規化以及將資料進行分類，其步驟簡述如下：

1. 變數間的相關性

本文採用 Wuder (2002) 的建議，若變數間的相關係數大於 0.8 時，歧異度間之相關係數絕對值，而本文所選用的變數其相關係數絕對值皆小於 0.8，意指變數間並無高度線性相關。

表 4-1 座標及各類生物的歧異度間的相關係數絕對值

| | 座標 X | 座標 Y | 鳥類 | 魚類 | 蟹類 | 植物 | 底棲動物 |
|------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| 座標 X | 1 | — | — | — | — | — | — |
| 座標 Y | 1.8×10^{-17} | 1 | — | — | — | — | — |
| 鳥類 | 0.41 | 0.39 | 1 | — | — | — | — |
| 魚類 | 0.06 | 0.09 | 0.69 | 1 | — | — | — |
| 蟹類 | 0.02 | 0.17 | 0.40 | 0.67 | 1 | — | — |
| 植物 | 0.03 | 0.09 | 0.69 | 0.77 | 0.54 | 1 | — |
| 底棲動物 | 0.01 | 0.07 | 0.52 | 0.67 | 0.70 | 0.61 | 1 |

2. 變數正規化

群集分析是根據變數來計算觀察體間的相似性或相異性，若變數間的單位不一致時可能造成結果偏差。如本文變數中的二度分帶座標與歧異度指數，因兩者屬於不同單位，故在分析過程中須先將變數值加以正規化使其介於 0 至 1 之間才可進行分析。但在分類後必須將正規化資料還原至原始數據，才能探討各群集間的特性。

3. 進行分類

因本研究最終目的是將保護區劃設為三個區域，故以 K-means 將插補後的生物資料分成三區，其中變數的選擇是以試誤法對表 4-3 中的變數進行組合，並依照以下標準選取合適的分區結果。

(1) 分區後的緩衝區必須包覆核心區。

(2) 分區後的歧異度指數、豐度指數及稀有物種個體數，其數值大小為核心區大於緩衝區且緩衝區大於永續利用區。

上述標準是考量緩衝區必須具有保護核心區的功能及緩衝人為活動對核心區的破壞。由於保護區的劃設精神是維持該區域內的生物多樣性，因此核心區及緩衝區必須包覆生物種類較多樣的區域。

4-3 依不同變數的分區

圖 4-4 至圖 4-6 是依不同變數的分區劃設圖，其中圖 4-4 所使用的變數為位置與魚類歧異度，圖 4-5 的變數為位置與蟹類歧異度，圖 4-6 的變數為位置與魚類、蟹類歧異度。其中紅色表示核心區，綠色表示緩衝區，灰色為永續利用區，其面積大小如表 4-2 所示。

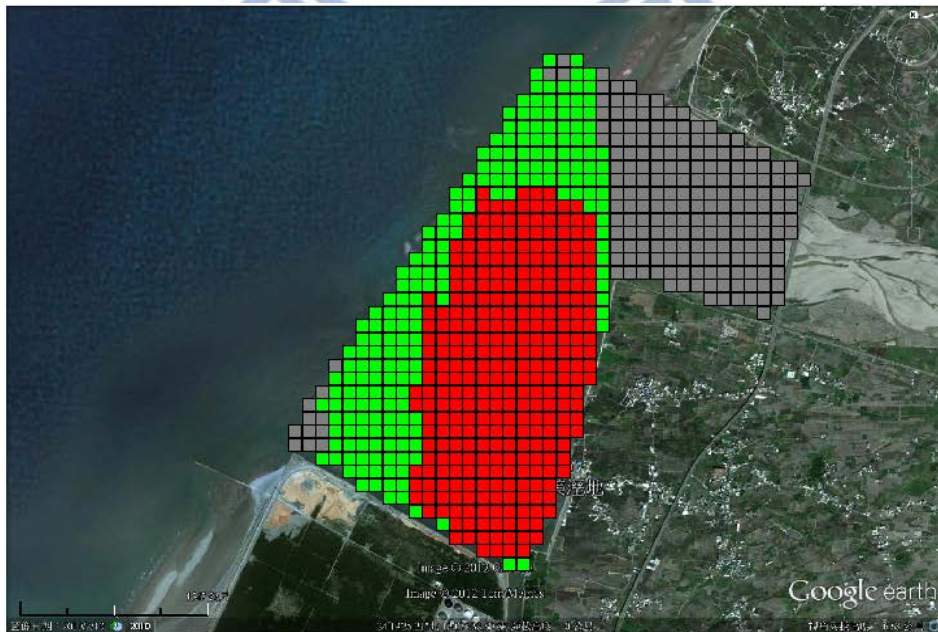


圖 4-4 依位置與魚類歧異度變數的分區劃設圖

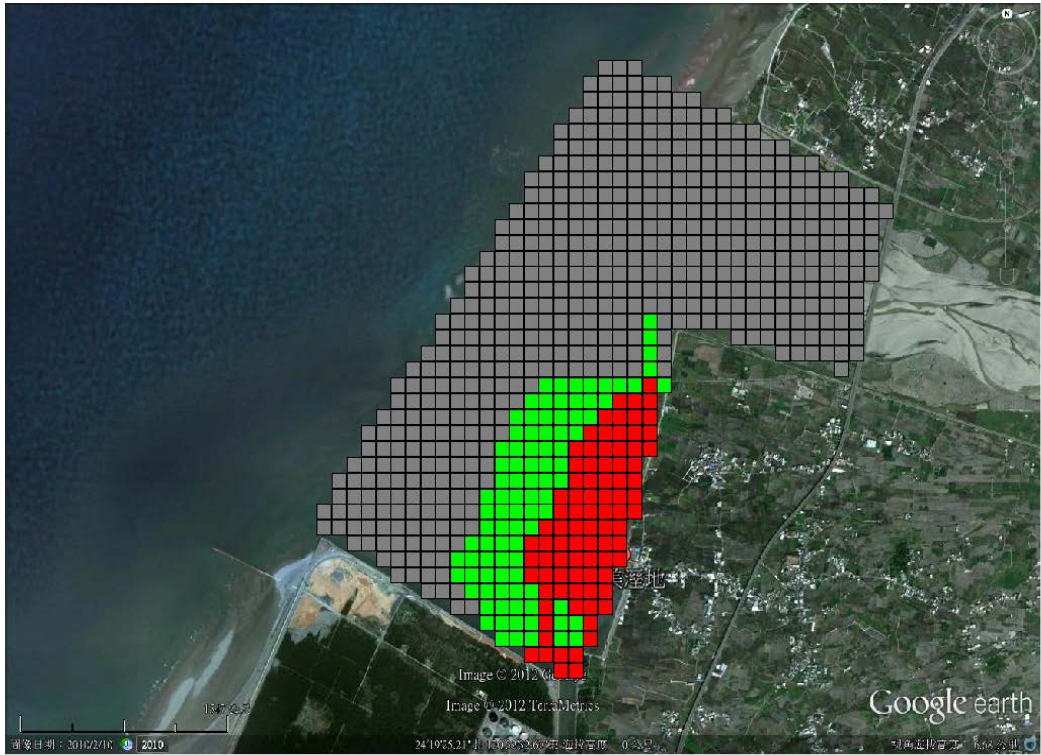


圖 4-5 依位置與蟹類歧異度變數的分區劃設圖

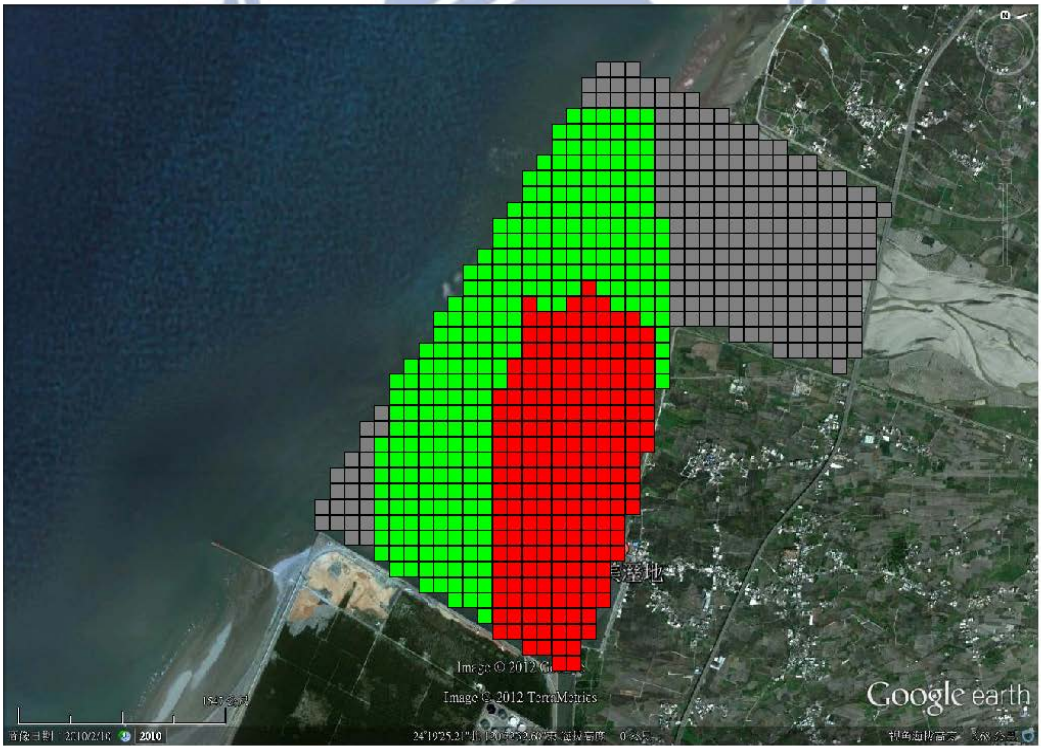


圖 4-6 依位置與魚類、蟹類歧異度變數的分區劃設圖

表 4-2 依不同變數所劃分保護區的分區面積(單位:公頃)

| 變數 \ 分區 | 核心區 | 緩衝區 | 永續利用區 |
|-------------|-----|-----|-------|
| 位置、魚類歧異度 | 300 | 202 | 199 |
| 位置、蟹類歧異度 | 86 | 93 | 522 |
| 位置、魚類、蟹類歧異度 | 206 | 272 | 223 |

本文以歧異度指數及豐度指數表示該分區內的生物多樣性，因此該分區內的數值愈高，表示該區域的生物種類較為豐富，也是適合生物棲息的良好環境。表 4-3 及表 4-4 為不同變數組合的分區及物種在各分區的平均歧異度及豐度，其結果為核心區大於緩衝區，而緩衝區大於永續利用區，其中括號內的數字表示該數值的標準偏差。

表 4-3 依不同變數的分區及物種在各分區內的平均歧異度(標準偏差)

| 變數 | 物種 | 核心區 | 緩衝區 | 永續利用區 |
|-----------------|------|------------|------------|------------|
| 位置與 魚類歧異度 | 鳥類 | 1.71(0.23) | 1.13(0.47) | 0.39(0.74) |
| | 魚類 | 1.47(0.25) | 0.62(0.21) | 0.01(0.15) |
| | 蟹類 | 0.45(0.31) | 0.15(0.17) | 0.06(0.04) |
| | 植物 | 0.29(0.08) | 0.16(0.11) | 0.01(0.11) |
| | 底棲動物 | 0.67(0.34) | 0.28(0.22) | 0.05(0.09) |
| 位置與 蟹類歧異度 | 鳥類 | 1.79(0.26) | 1.60(0.37) | 0.58(0.78) |
| | 魚類 | 1.53(0.33) | 1.22(0.45) | 0.16(0.41) |
| | 蟹類 | 0.89(0.18) | 0.43(0.12) | 0.07(0.04) |
| | 植物 | 0.34(0.09) | 0.28(0.09) | 0.02(0.13) |
| | 底棲動物 | 0.84(0.28) | 0.59(0.32) | 0.12(0.19) |
| 位置與 魚類、蟹類歧異度 | 鳥類 | 1.76(0.23) | 1.27(0.43) | 0.41(0.74) |
| | 魚類 | 1.56(0.24) | 0.78(0.26) | 0.01(0.17) |
| | 蟹類 | 0.59(0.31) | 0.15(0.11) | 0.06(0.04) |
| | 植物 | 0.32(0.08) | 0.19(0.09) | 0.01(0.11) |
| | 底棲動物 | 0.77(0.31) | 0.34(0.25) | 0.06(0.09) |

表 4-4 依不同變數的分區及物種在各分區內的平均豐度(標準偏差)

| 變數 | 物種 | 核心區 | 緩衝區 | 永續利用區 |
|-----------------|------|------------|------------|------------|
| 位置與 魚類歧異度 | 鳥類 | 2.85(0.39) | 1.93(0.83) | 0.94(1.35) |
| | 魚類 | 1.99(0.43) | 0.82(0.29) | 0.01(0.21) |
| | 蟹類 | 0.49(0.34) | 0.14(0.17) | 0.06(0.04) |
| | 植物 | 0.39(0.14) | 0.23(0.19) | 0.01(0.28) |
| | 底棲動物 | 0.98(0.43) | 0.41(0.32) | 0.08(0.12) |
| 位置與 蟹類歧異度 | 鳥類 | 3.03(0.40) | 2.73(0.56) | 1.21(1.33) |
| | 魚類 | 2.05(0.48) | 1.67(0.71) | 0.23(0.56) |
| | 蟹類 | 0.95(0.23) | 0.45(0.15) | 0.07(0.05) |
| | 植物 | 0.44(0.09) | 0.37(0.12) | 0.05(0.28) |
| | 底棲動物 | 1.19(0.33) | 0.82(0.42) | 0.18(0.28) |
| 位置與 魚類、蟹類歧異度 | 鳥類 | 2.98(0.37) | 2.14(0.71) | 0.97(1.34) |
| | 魚類 | 2.14(0.24) | 1.06(0.26) | 0.01(0.17) |
| | 蟹類 | 0.64(0.31) | 0.15(0.12) | 0.06(0.04) |
| | 植物 | 0.41(0.08) | 0.26(0.09) | 0.01(0.11) |
| | 底棲動物 | 1.09(0.41) | 0.51(0.35) | 0.09(0.12) |

保護區的另一個重要功能為保護稀有物種，故良好的保護區劃設結果其核心區及緩衝區應包覆較多的稀有物種。如表 4-5 所示。依位置、魚類歧異度變數及位置、蟹類歧異度變數的分區結果顯示，核心區及緩衝區皆包覆到較多的稀有物種；但依位置及魚類、蟹類歧異度變數分區時，其緩衝區包覆到的稀有物種多於核心區，表示此結果在保育稀有物種上非良好的劃設方式。

表 4-5 依不同變數的分區及在各分區內的稀有物種平均個體數(標準偏差)

| 變數 \ 分區 | 核心區 | 緩衝區 | 永續利用區 |
|-------------|------------|------------|------------|
| 位置、魚類歧異度 | 1.30(0.92) | 1.24(1.51) | 0.29(0.22) |
| 位置、蟹類歧異度 | 1.27(0.72) | 1.21(0.86) | 0.53(0.85) |
| 位置、魚類、蟹類歧異度 | 1.23(0.72) | 1.42(1.55) | 0.31(0.27) |

4-4 與台中市政府已劃設分區的比較

在本研究中依位置、魚類歧異度變數的分區及位置、蟹類歧異度變數的分區為較佳的分區劃設。本文將兩種結果的分區面積與台中市政府公告保護區的分區面積作比較，其面積見表 4-6。

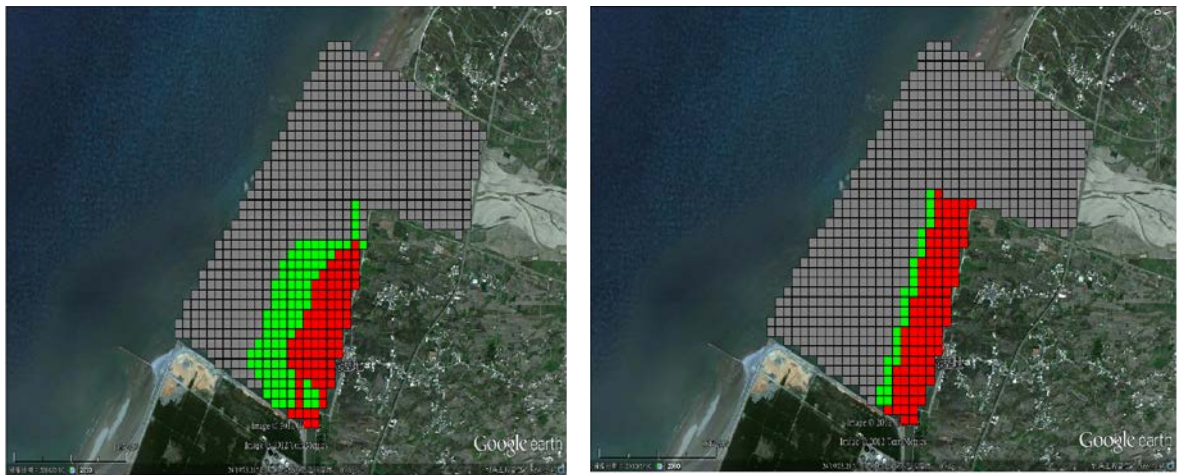
表 4-6 本文兩種保護區與台中市政府公告保護區的分區面積比較
(單位：公頃)

| | 核心區 | 緩衝區 | 永續利用區 |
|---------------|-----|-----|-------|
| 位置、魚類歧異度變數的分區 | 300 | 202 | 199 |
| 位置、蟹類歧異度變數的分區 | 86 | 93 | 522 |
| 台中市政府公告之分區 | 105 | 26 | 569 |

由表 4-6 可知位置與蟹類歧異度變數的保護區與台中市政府公告的保護區，其分區面積較為相似。

但利用面積比較，無法準確表示兩邊劃設的分區位置是否相同，故在此提出一個做法，可準確表示兩邊劃設的分區位置差異。首先依照台中市政府公告的保護區範圍將其製成與本文相同網格數的分區範圍圖，如圖 4-7 所示。再依據不同的分區等級，分別在兩者的分區中置入數字。首先將雙方的核心區(紅色網格)設為數字 1，緩衝區(綠色網格)設為數字 2，而永續利用區(灰色網格)設為數字 3。

再將兩者分區內的數字相減後取絕對值，可得到同一位置兩者劃設分區的等級差異，如圖 4-8 所示。其中橙色為相減後數值為 0 的區域，表示雙方所劃設的分區屬於同等級。藍色為相減後數值為 1 的區域，表示兩者劃設的分區差一個等級。而紅色為相減後數值為 2 的區域，如果紅色區塊愈多即表示雙方所劃設的保護區類型差距愈大(核心區數字減永續利用區數字)。



(a) 本文劃設

(b) 台中市政府已劃設

圖4-7 本文劃設與台中市政府公告之分區範圍(紅色:核心區、綠色:緩衝區、灰色:永續利用區)

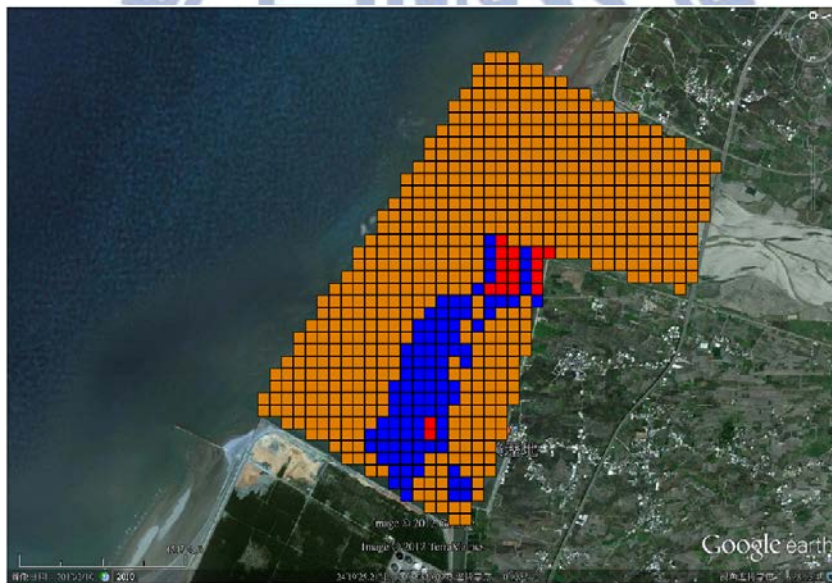


圖 4-8 上圖中兩者劃設分區的等級差異 (紅色: 2、藍色: 1、橙色: 0)

第五章 結論

本文將不同變數組合並由群集分析進行分區後，其中有三種結果較佳。但依位置及魚類、蟹類歧異度變數分區時，其緩衝區包覆到的稀有物種多於核心區，因此在保育稀有物種上非良好的劃設方式。本文將兩種較好的結果與台中市政府劃設的分區面積作比較，其中依位置及蟹類歧異度變數的分區面積與台中市政府劃設的分區較為相似，因此本文提出了一個方法可準確判別兩者劃設分區的等級差異，綜合以上的分析後將重點歸納為下列四點：

1. 依位置變數與魚類歧異度變數的分區劃設，其分區面積為核心區最大，永續利用區最小。由兩種生物多樣性指標可知核心區及緩衝區包覆到物種較多樣的區域。由稀有物種在分區中的個體數可知，核心區及緩衝區有包覆到較多的稀有物種。因此本文將其歸類為良好的劃設結果。
2. 若依位置變數與蟹類歧異度變數劃設分區時，為永續利用區所占面積最大，核心區占最小。由兩種生物多樣性指標可知物種較多樣的區域主要位於核心區及緩衝區中，且核心區及緩衝區包覆到較多的稀有物種個體數。所以此結果為良好的保護區分區。
3. 若依位置變數、魚類與蟹類歧異度變數分類時，雖與位置變數及蟹類歧異度變數的分區結果相似，但緩衝區的稀有物種個體數多於核心區，故此分區結果在保育稀有動物方面非良好的劃設結果。
4. 依照本文方法將位置、蟹類歧異度變數的分區與台中市政府所劃設的分區比較後可知，本文劃設的分區與台中市政府所劃設之保護區分區有 84% 屬於同類型。因此兩者所劃設的分區類型相似。

參考文獻

1. 陳正昌、程炳林、陳新豐、劉子鍵(1994)，「多變量分析方法」，五南圖書出版股份有限公司。
2. 邱文彥(1998)，台灣濕地的生態教育。
3. 郭世榮、林幸助、邵廣昭(1998)，「台灣南北部紅樹林區魚類群聚之研究」，中華民國第四屆海岸濕地生態及保育研討會論文集，第 115-143 頁。
4. 葉惠中和鄭克聲(1999)，「克利金空間推估與複迴歸之關係及半變異元函數之特性探討」，*台灣水利期刊*，第 47 卷，第一期。
5. 陳順宇(2000)，「多變量分析」，華泰書局。
6. 施義哲(2002)，「我國海洋保護區政策-其必要性與加拿大海洋法相關規定之比較研究」，國立中山大學。
7. 張維仁(2003)，「群集分析法應用於東勢林區管理處大安溪事業區林地分類之研究」，國立中興大學。
8. 黃俊英(2003)，「多變量分析」，中國企業研究所。
9. 蕭謝芬(2005)，「國小學童使用電腦中介溝通機制進行合作學習之群集樣式」，國立臺南大學資訊教育研究所碩士論文。
10. 陳俊杰(2005)，「港灣結構物週邊底棲生物群集特性與其棲地模式之建立-以安平港為例」，國立交通大學。
11. 李奕迪(2007)，「以指標克利金法預測荖濃河流域之植群空間分布」，國立中山大學。
12. 陳俊德(2008)，「以空間分析模式劃設海洋、海岸保護區之研究-以高美

- 濕地為例」，國立中山大學。
- 13.行政院農委會林務局(2009)，野生動物保護名錄。
 - 14.沈政翰(2011)，「海洋保護區的規劃-以龜山島為例」，國立中山大學。
 - 15.蘇育弘(2011)，「高雄市國中生對濕地生態保育知識、態度與行為之研究-以高雄市生態濕地廊道為例」，國立中山大學。
 - 16.內政部營建署(2012)，濕地法草案意見研提彙整表。
 - 17.台中市政府農業局(2012)，高美野生動物保護區計畫書。
 - 18.Bezdek, J. C. (1981) *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*, New York, Plenum.
 - 19.Cabeza, M. and Moilanen, A. (2001) Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 6, 242-248.
 - 20.Davis, J. C. (2002) *Statistics and Data Analysis in Geology*, New York, John Wiley.
 - 21.Falconer, R. A. and Goodwin, P. (1994) *Wetland management*, London, Telford.
 - 22.Maier, J. A. K., Hoef, J. M. H., McGuire, A. D. and Bowyer, R. T. (2005) Distribution and density of moose in relation to landscape characteristics: effects of scale. *Canadian Journal of Forest Research*, 35, 2233-2243.
 - 23.Lefohn, A. S., Knudsen, H. P. and Shadwick, D. S. (2005) Using ordinary Kriging to estimate the seasonal W126, and N100 24-h concentrations for the year 2000 and 2003, A.S.L. & Associates.
 - 24.Monestiez, P., Dubroca, L., Bonnin, E., Durbec, J. P. and Guinet C. (2006) Geostatistical modelling of spatial distribution of *Balaenoptera physalus* in

the Northwestern Mediterranean Sea from sparse count data and heterogeneous observation efforts. *Ecological Modelling*, 193, 615-628.

25. Punj, G. and Stewart, D. W. (1983) Cluster analysis in marketing research: review and suggestions for application, *Journal of Marketing Research*, 134-148.

26. Stelzenmüller, V., Maynou, F. and Martin, P. (2007) Spatial assessment of benefits of a coastal Mediterranean Marine Protected Area, *Biological Conservation*, 136, 571-583.



附錄 A 虛擬測站數據的設置試作過程

圖 A-1 為虛擬測站及鳥類測站的位置圖，其中紅線虛擬測站的數據為海域測站數據的平均值，黃線虛擬測站的數據為黃線所圈的陸域測站數據的平均值，黑線虛擬測站的數據為陸域測站的平均值。



圖 A-1 虛擬測站(紅線、黃線、黑線)及鳥類測站(陸域:綠色方格，海域:紅色方格)的位置圖

圖 A-2 為虛擬測站及魚類測站的位置圖，其中紅線虛擬測站的數據為魚類測站中歧異度最小的測站數據進行設置。圖 A-3 為依位置與鳥類歧異度變數的分區劃設圖，其中紅色區域為核心區，綠色區域為緩衝區，而灰色區域為永續利用區。此劃設範圍是依據陳俊德(2008)所劃定的保護區範圍。

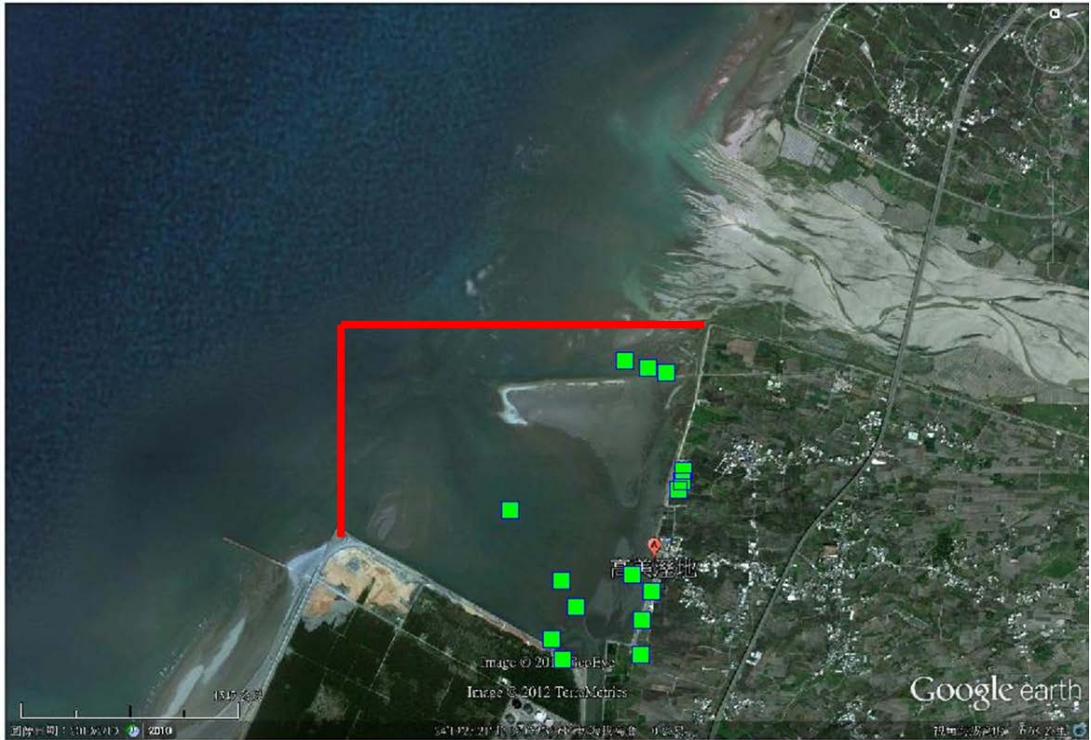


圖 A-2 虛擬測站(紅線)及魚類測站(綠色方格)的位置圖

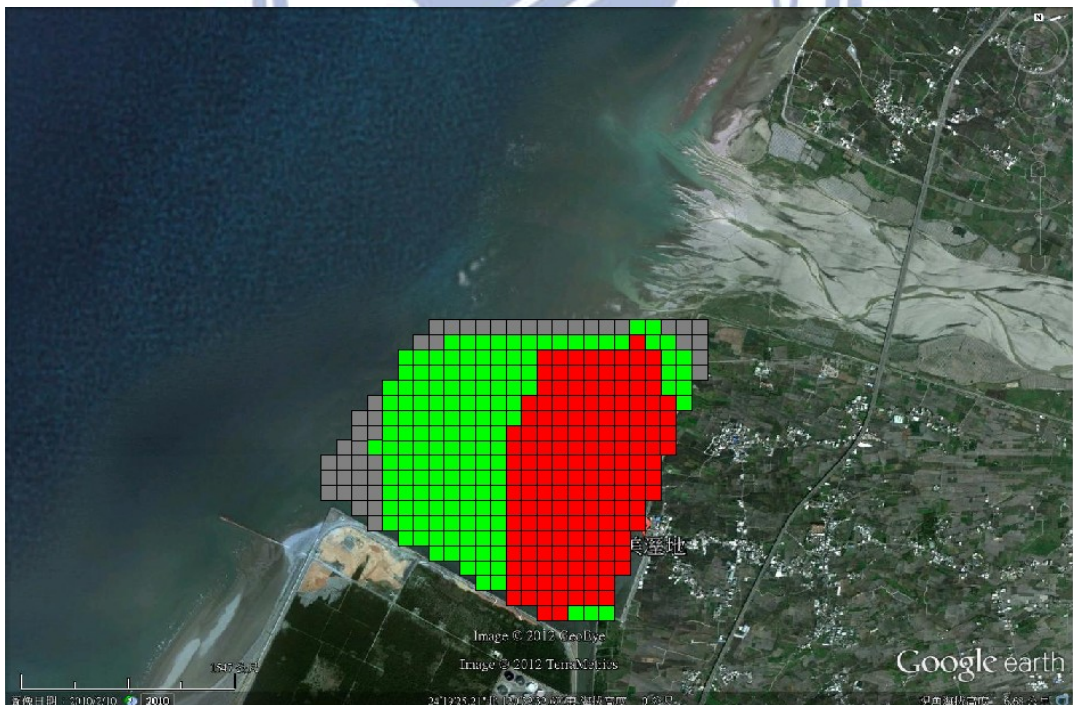


圖 A-3 依位置與鳥類歧異度變數的分區劃設圖

附錄 B 群集變數的設置試作過程

圖 B-1 為依位置與鳥類豐度變數的分區劃設圖，其中紅色區域為核心區，綠色區域為緩衝區。由於此劃設範圍內沒有永續利用區的區塊，因此非良好的分區劃設。

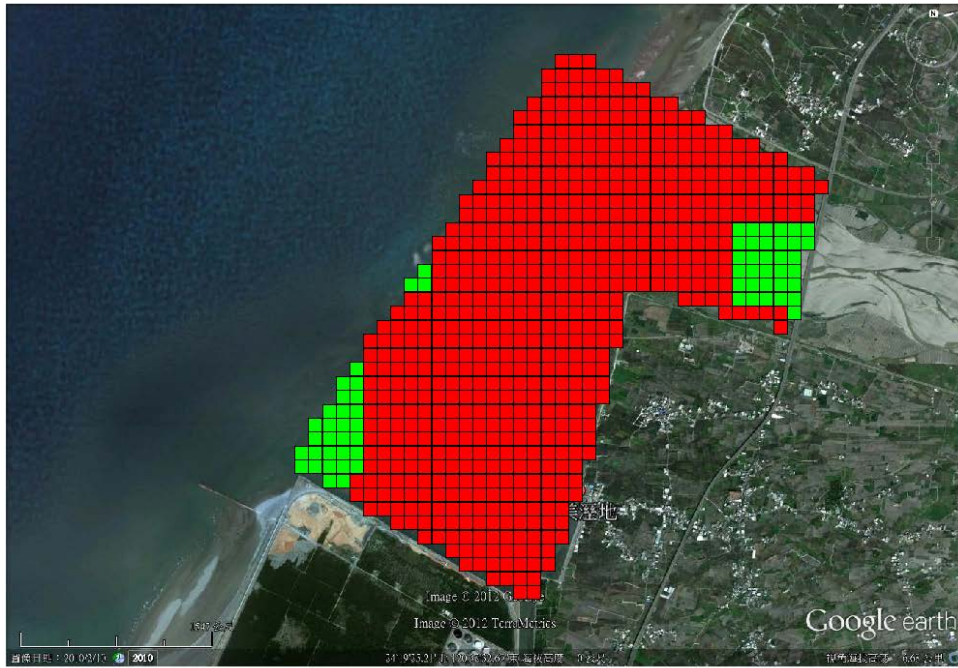


圖 B-1 依位置與鳥類豐度變數的分區劃設圖

圖 B-2 至圖 B-4 是依不同變數的分區劃設圖，其中紅色區域為核心區，綠色區域為緩衝區，灰色區域為永續利用區。由表 B-1 可知圖 B-2 至圖 B-4 的分區，其緩衝區的蟹類平均歧異度小於永續利用區，故不符合本文 4-2 節的劃設原則。

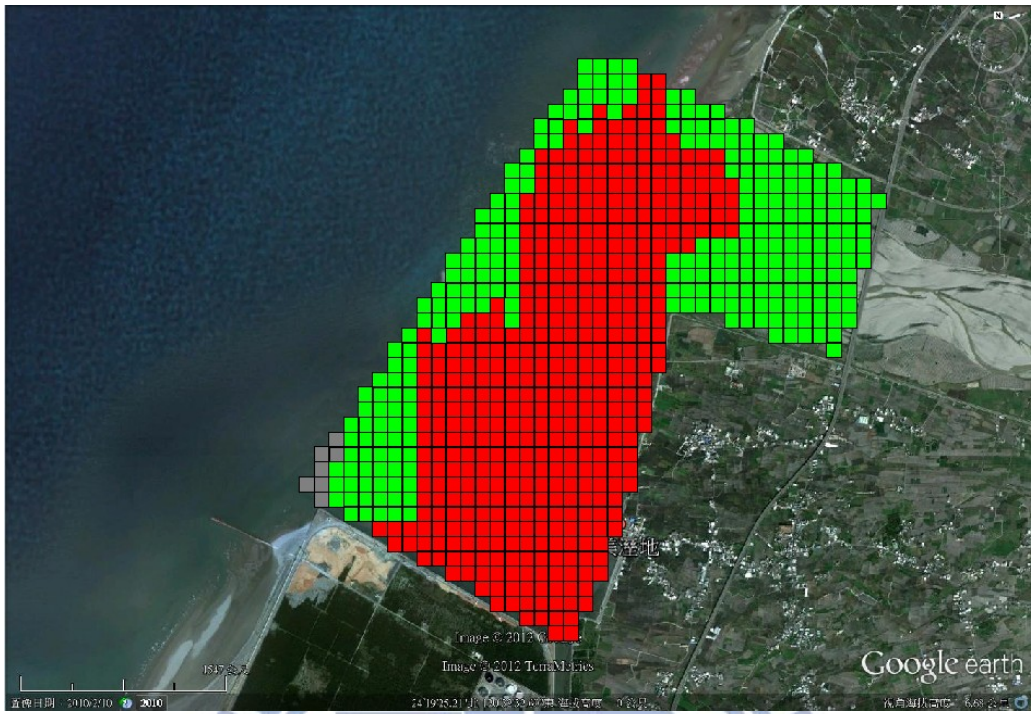


圖 B-2 依位置與鳥類歧異度變數的分區劃設圖

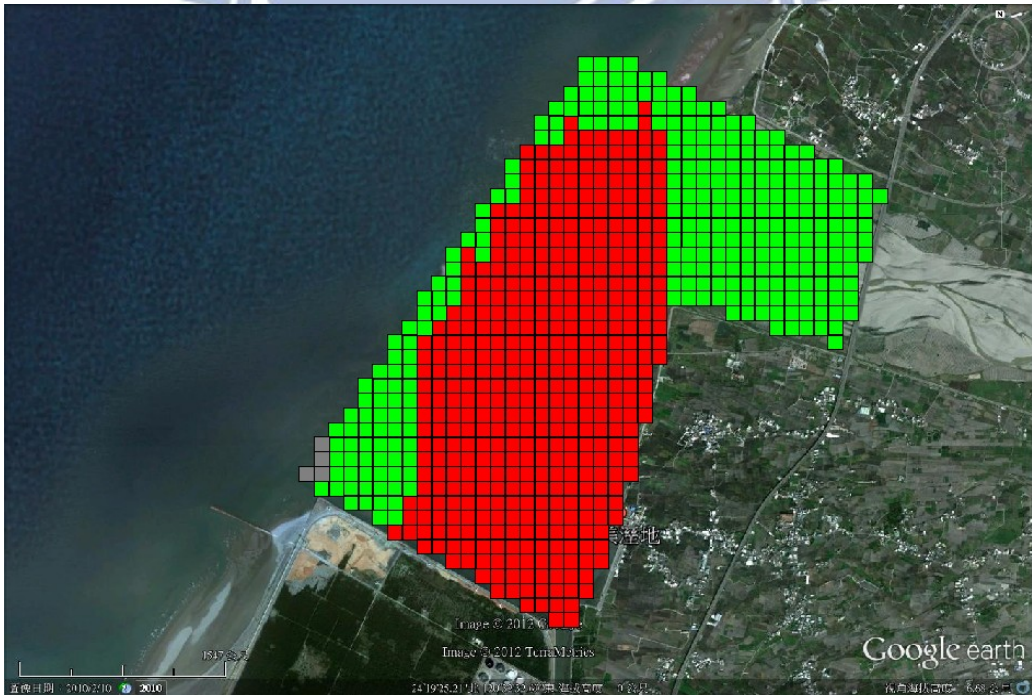


圖 B-3 依位置與鳥類、魚類歧異度變數的分區劃設圖

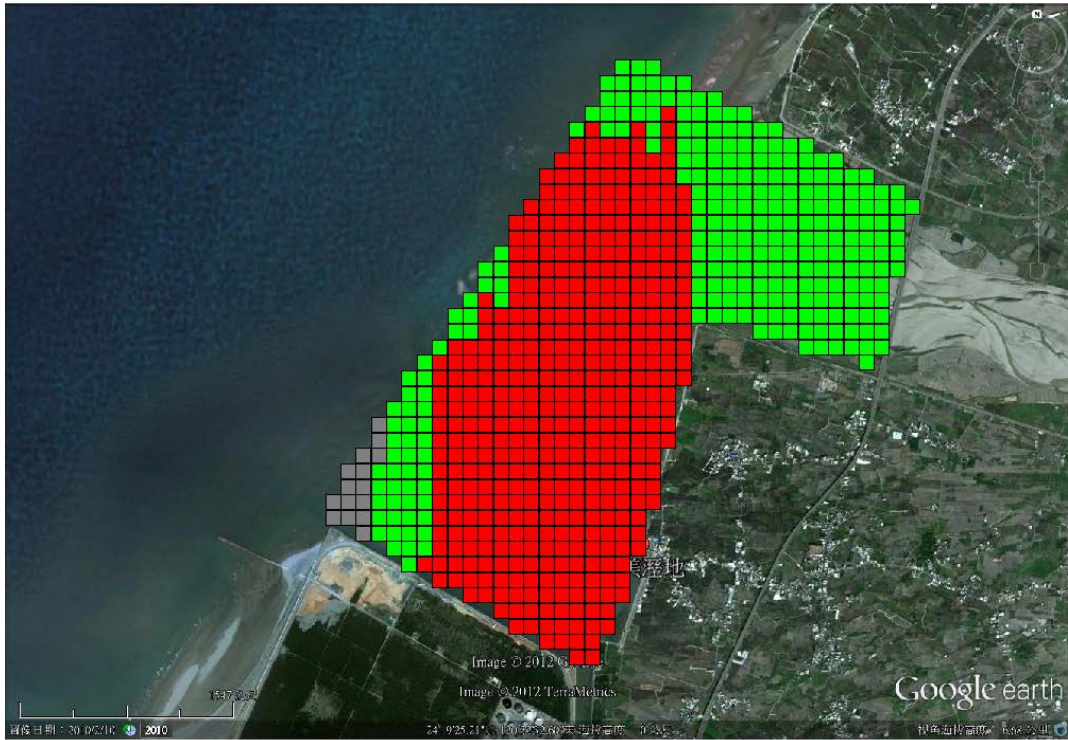


圖 B-4 依位置與鳥類、魚類豐度變數的分區劃設圖

表 B-1 依不同變數的分區及蟹類在各分區內的平均歧異度(標準偏差)

| 變數 | 物種 | 核心區 | 緩衝區 | 永續利用區 |
|-------------|----|------------|------------|------------|
| 位置與鳥類歧異度 | 蟹類 | 0.34(0.31) | 0.06(0.04) | 0.07(0.03) |
| 位置與鳥類、魚類歧異度 | 蟹類 | 0.36(0.30) | 0.06(0.05) | 0.07(0.04) |
| 位置與鳥類、魚類豐度 | 蟹類 | 0.37(0.33) | 0.06(0.04) | 0.07(0.03) |

圖 B-5 至圖 B-7 為本文三種保護區劃設加入稀有動植物個體數變數的劃設結果。由表 B-2 可知加入稀有動植物個體數劃設後，緩衝區的植物平均歧異度皆小於永續利用區，故不符合本文 4-2 節的劃設原則。



圖 B-5 依位置、魚類歧異度、稀有動植物個體數變數的分區劃設圖

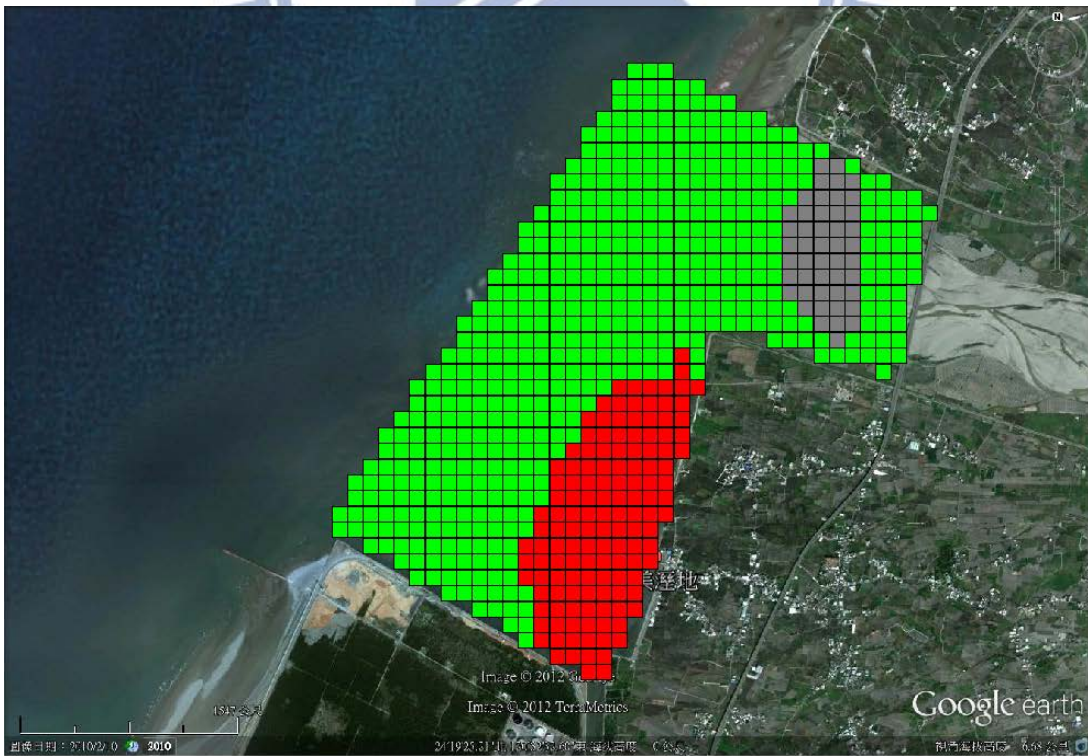


圖 B-6 依位置、蟹類歧異度、稀有動植物個體數變數的分區劃設圖

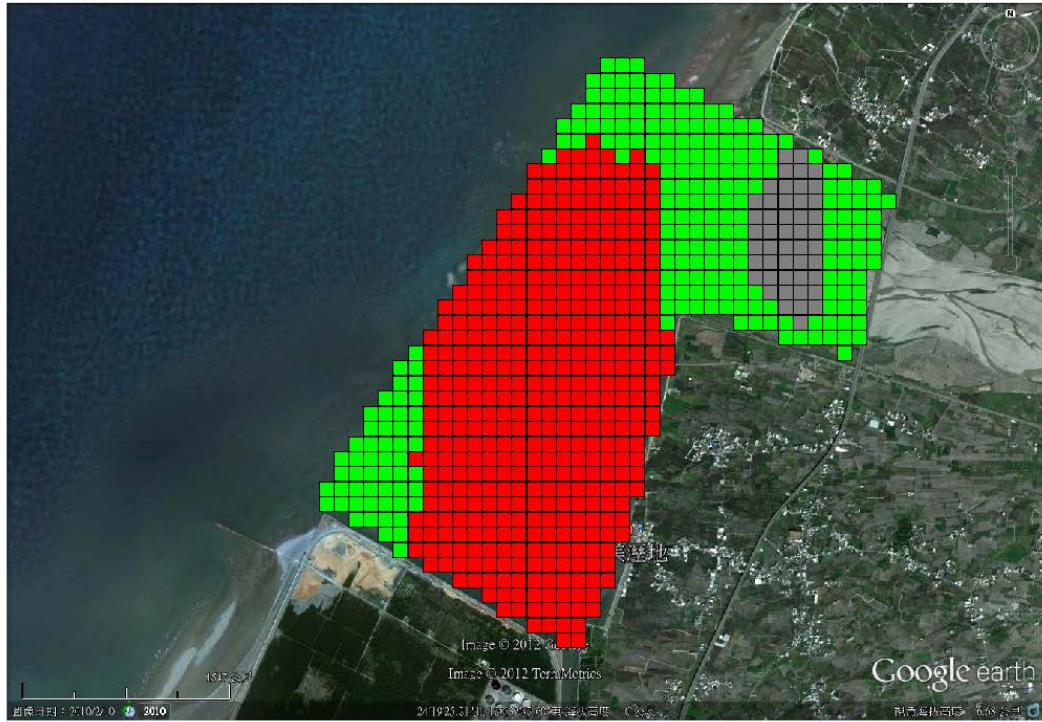


圖 B-7 依位置、魚類、蟹類歧異度、稀有動植物個體數變數的分區劃設圖

表 B-2 依不同變數的分區及物種在各分區內的平均歧異度(標準偏差)

| 變數 | 物種 | 核心區 | 緩衝區 | 永續利用區 |
|--------------------------|------|------------|------------|------------|
| 位置、魚類歧異度 及稀有動植物個體數 | 鳥類 | 1.54(0.36) | 0.44(0.75) | 0.83(0.24) |
| | 魚類 | 1.18(0.39) | 0.03(0.21) | 0.01(0.18) |
| | 蟹類 | 0.35(0.31) | 0.07(0.05) | 0.06(0.03) |
| | 植物 | 0.24(0.12) | 0.03(0.07) | 0.07(0.05) |
| | 底棲動物 | 0.54(0.34) | 0.08(0.12) | 0.01(0.01) |
| 位置、蟹類歧異度 及稀有動植物個體數 | 鳥類 | 1.74(0.28) | 0.61(0.79) | 0.83(0.24) |
| | 魚類 | 1.44(0.38) | 0.20(0.44) | 0.01(0.18) |
| | 蟹類 | 0.72(0.23) | 0.08(0.06) | 0.05(0.03) |
| | 植物 | 0.35(0.13) | 0.05(0.09) | 0.07(0.05) |
| | 底棲動物 | 0.79(0.28) | 0.14(0.21) | 0.01(0.01) |
| 位置、魚類、蟹類歧異度 及稀有動植物個體數 | 鳥類 | 1.59(0.32) | 1.45(0.75) | 0.83(0.24) |
| | 魚類 | 1.23(0.37) | 0.04(0.28) | 0.01(0.13) |
| | 蟹類 | 0.37(0.31) | 0.07(0.04) | 0.06(0.03) |
| | 植物 | 0.26(0.12) | 0.03(0.07) | 0.07(0.05) |
| | 底棲動物 | 0.56(0.34) | 0.08(0.12) | 0.01(0.01) |

附錄 C 高美濕地稀有生物的特性介紹

1. 雲林莞草(學名:*Bolboschoenus planiculmis*)



(資料來源: <http://sowhc.sow.org.tw/html/observation/sea/plant/107/107.htm>)

屬瀕危級的稀有植物，零星分布在台灣西部海岸潮間帶，僅高美濕地具有大面積生長，高可達 100 公分，生長期為 2 月至 8 月，5、6 月時自近莖頂部抽出長約 1 公分的頭狀花穗，內含芝麻大小的種子，11 月起植株枯萎，而以地下根莖渡冬，生長具明顯季節性變化。

2. 八哥(學名:*Acridotheres cristatellus*)



(資料來源: <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%AB%E5%93%A5>)

保育程度為珍貴稀有，通常呈現黑色，粗看起來頗似烏鴉，但體形較各類烏鴉均遠遠為小，八哥喙足均為鮮黃色。本物種在喙與頭部的交接處有著明顯的額羽，細看頭頸部的體羽，黑色中有綠色的金屬光澤閃動，兩塊白斑與黑色的體羽形成鮮明的對比也是八哥的一個重要辨識特徵；尾羽端部白色。

3. 紅隼(學名: *Falco tinnunculus*)



(資料來源: <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B4%85%E9%9A%BC>)

保育程度為珍貴稀有，又名茶隼、紅鷹、黃鷹、紅鷄子，一般棲息於林地、草原、有零星樹木的牧場、海岸等，築巢於懸崖、樹木以及舊建築或廢墟的牆上。

4. 小燕鷗(學名: *Sterna albifrons*)



(資料來源: http://archive.zo.ntu.edu.tw/bird_index.asp?bird_id=B0251)

保育程度為珍貴稀有，常出現於海岸、河口、沼澤及魚塭地帶。燕鷗體型較大，嘴、腳、額、尾羽外側皆為黑色，下兩腹面略帶淡紫灰色；飛行時，振翅緩慢。

5. 黑嘴鷗(學名: *Larus saundersi*)



(資料來源:

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%BB%91%E5%98%B4%E9%B8%A5>)

保育程度為珍貴稀有，體長 33 公分的小型鷗，具有黑而短的嘴，繁殖期成鳥頭部的黑色可延伸至後頸，具不完全的白眼圈，非繁殖個體在初級飛羽末端有白點，內側飛羽的尖端則有黑點，尾羽末端有窄的黑帶。

6. 大杓鷗(學名: *Numenius arquata*)



(資料來源: <http://e-info.org.tw/node/63312>)

保育程度為珍貴稀有大杓鷗是鷗科中體型最大的一種，食物來源以底棲生物貝類、蟹類為主。長長彎彎的嘴喙，約有 18 公分以上，可以伸到泥灘地中搜尋捕獲可吃的多毛類、螃蟹等食物。下腹部與腰部為純白色，其餘顏色都是棕色系列的斑紋。

