考古人類學刊・第 79 期・頁 47-70・2013
DOI: 10.6152/jaa.2013.12.0003

地理資訊系統在集域分析及地景空間的應用：以鵝鑾鼻第三／四文化相遺址為例*

劉 亭 攸**

摘 要

集域分析（catchment analysis）在研究方法的發展上，從簡單的同心圓逐漸修正，並在地理資訊系統（geographic information system）的幫助下將更多變數納入考量。而同時考量取得海、陸資源的能力並建立模型，可以對遺址居民在其環境中的活動有更細緻的了解。

透過費由面和視域分析之後，可發現鵝鑾鼻第三／四文化相遺址在集域範圍與地景空間上相互對應。而共享同一地景空間的龜山與猴仙洞遺址，在活動範圍上也各自佔據了山與海的活動範圍，可能衍生出不同的互動模式，應可作為日後檢視兩遺址動物遺留與生業工具時的參考依據。

關鍵字： 鵝鑾鼻第三／四文化相、集域分析、費由面、視域分析、動物遺留、地景空間

---

* 本文章修改自作者 2012 年之碩士論文《鵝鑾鼻第三／四文化相遺址的集域分析與漁獵地景》。

** 國立臺灣大學人類學碩士。

臺灣大學學術期刊資料庫

Journal of Archaeology and Anthropology • 79：47-70 • 2013

Application of GIS to Catchment Analysis and Landscape Room: A Case Study of OLP III/IV Cultural Phase Sites

Ting-yu Liu*

ABSTRACT

Through the calculation of cost surface, GIS enables site catchment analysis to move beyond models with simple geometric circles to allow for irregular ranges by considering the different costs of transportation over landscapes. Taking both terrestrial and marine data into consideration, the different accessibility of resources within a site catchment can be understood in more detail, and archaeologists can use this information to create a model of interaction between sites and their environment.

According to the location of six sites from the O-luan-pi III/IV phase, and through the analysis of cost-surface and viewshed of digital elevation model (DEM) in GIS, I divide the coastal area of the O-luan-pi peninsula into four different landscape rooms. Two landscape rooms are separately occupied by a single site, and the other two landscape rooms each have two sites within them. It would seem natural to expect that catchments of sites sharing the same landscape room would overlap and that the activities of the sites on land would influence each other on land. However, through the analyses of current and wind data, it appears that sites sharing the same landscape room have different accessibility to terrestrial and marine environments. These variations may have led those sites to maintain their independent site catchments rather than competingwith each other for resources.

Keywords: OLP III/IV phase, catchment analysis, cost surface, viewshed analysis, fauna remains, landscape room

* M.A. Department of Anthropology, National Taiwan University

臺灣大學學術期刊資料庫

前　言

在考古學的研究中，集域分析通常用以評估遺址居民的生業活動範圍，並藉由移動所花費的成本高低來討論其取得鄰近資源的模式。但此一分析方式在其理論來源以及發展上，具有工具理性（instrumental rationality）與單一居址的兩個前提假設，往往與現實狀況不符而難以直接應用於考古遺址的分析中。透過地理資訊系統（GIS）的幫助，可以利用電腦的運算將各種不同變因量化，將複數的遺址納入考量；同時因為納入各種變因，才得以進一步討論影響遺址居民活動的不同因素，而不落入單一偏頗的預設框架。

在本文中，將從集域分析的理論架構出發，探討其在各變項以及分析方法上的修正，再討論能透過 GIS 完成的修正與分析方法。最後則對臺灣南端海岸的鵝鑾鼻第三／四史前文化相遺址進行分析，試圖以地景空間的角度切入，一方面檢視過去研究中對於這些遺址的生業型態與遺址類型的討論，另一方面則建立一個可供驗證的模型，以討論這些遺址之間因其自然環境所可能具有的集域範圍及遺址居民間的互動關係。

文獻回顧

遺址集域分析（site-catchment analysis）是由 Eric Higgs 與 Claudio Vita-Finzi 所提出，目的在討論遺址對其周邊土地的利用方式，認為不同的生業活動會因資源與成本之間的效益關係而形成一個經濟範圍，並以此範圍內的自然資源作為維持生計的來源。在其理論中，主張史前居民在農業與狩獵採集的土地利用上，應分別以遺址向外 5 公里與 10 公里處為極限，超出此一範圍則會因為所獲取的資源不足以彌補支付的勞力而無利可圖（Higgs et al. 1972）。

這個分析方法是以 Johann Heinrich von Thünen 在《孤立國》（Der Isolierte Staat）中所討論的距離與土地利用關係—亦即邱念圈（Thünen Ring）—的概念加以延伸，以應用在考古學的遺址居民對週遭環境資源利用的評估（Chisholm 2007）。而邱念圈是假設廣大平原的中央有單一村莊，鄰近農民對於作物的選擇，會受到因運輸距離所增加的成本而改變（von Thünen 1947）。這樣的理論來源使得集域分析帶有工具理性的前提，且僅能以單一遺址為分析對象。

在其理論中，von Thünen 認為影響各種作物經濟租（economic rent，即利潤的差值）高低的因素包括了固定成本、生產成本與運輸成本，而 Adam Smith 在《原富》（An inquiry

臺灣大學學術期刊資料庫

into the nature and causes of the wealth of nations）中所論述的土地產值為農作物收益扣除人力、物力投資後之利潤的觀點，並未考量部份的利潤為土地投入生產前便已投資的固定成本所致，造成生產的利潤被高估。因此 von Thünen 將農業行為生產的整體利潤視為「田莊租金」（gutsrente），扣除掉房舍、圍籬等固定成本所產生之利潤後，才是土地的真正產值，稱為「地租」，且形成了這樣的關係：$R = Y(p\text{-}c)\text{-}Yfm$（von Thünen 1947）。[1]

在這個關係式中，單一農產品的利潤會隨著與市場距離的增加遞減，直到利潤無法抵消成本，使農夫不願再生產該種農產品。因此當市場取向的農業發生在氣候、土壤等自然因素均質的區域時，不同的農作物會因其運輸成本的差異，在城市（市場所在處）外圍呈現同心圓狀的分布，即為邱念圈（Thünen Ring），而各同心圓的界線即為該區作物利潤的下限，超出此一範圍則種植該作物將無利可圖（von Thünen 1947）。

Higgs 與 Vita-Finzi 將此一利潤界線的概念應用到史前經濟的討論中，認為在遺址外的一定距離內為史前居民土地利用的範圍，超出距離則無法應付勞動所出的成本。在早期的討論中，他們將此一界線畫在遺址外 10 公里處，在這一範圍內屬於資源開採區（exploitation territory）。調查則從遺址向外進行，記錄土壤狀況、地形坡度、顯著地景以及水資源的分布，以作為評估農、牧業或其它土地利用方式的依據（Higgs 1975）。

但因為此研究方法來自於邱念圈理論中以運輸成本為主的模型，使其過於仰賴距離作為其分析的依據，以及預設了人類以工具理性作為其經濟活動準則的立場。在此一準則下，社會文化脈絡對於人群土地利用模式的影響便容易被忽視，僅由土地的客觀屬性進行討論，使得史前社會的生業活動可能會被錯估，而以許多民族誌資料來看，人類對其環境資源的使用也並非完全符合遺址集域分析所採用的模型（陳玉美 2003）。

在集域分析的研究上，考古學者們也針對其範圍的大小或計算的方法提出了不少修正（Roper 1979）。這些修正方式可分為兩類，一為生產與運輸成本對地租的影響，另一種則是多重遺址的討論。就成本方面，Higgs 為了修正地形因素對運輸造成的影響，改以兩小時的行走時間來代替原先武斷的 10 公里的劃分（Higgs 1975）。又由於不同的生業形態如農業與漁獵活動在集域範圍上具有差異，產生不同的經濟範圍。因此，設定集域範圍時除了因生業活動不同而有差異之外，地區資源的豐缺也會使投資報償率產生變化，對集域範圍產生影響（Zvelebil 1983）。遺址內各類遺留的比例也反映了經濟範圍內各項資源對當時居民重要性的不同（Flannery 1976）。而這些不同的變數則因 GIS 的出現則使研究者可以更輕易地將其量化，進一步分析各因素對遺址集域的影響，如 Vincent Gaffney 與 Zoran Stančič 在克羅埃西亞 Hvar 島上的研究，便以坡度和土壤、岩性等因素

臺灣大學學術期刊資料庫

相互比較來推論其土地利用狀況（Gaffney and Stančič 1991）。

在修正多重遺址的影響方面，則將影響地租的「市場」從單一變為多個。在邱念圈中，當中心城市外圍具有其它城鎮存在時，會因地租的改變在其周圍形成另一同心圓，但因地租受不同市價影響，使其同心圓與圍繞中心城市者在大小上有所不同，產生扭曲與變形（von Thünen 1947）。在考古學中，史前經濟活動也不侷限於單一的遺址，同一個區域也不僅有單一的居住群體使用。因此，以多個遺址為研究對象時，彼此之間的經濟範圍交界或重疊處也是集域分析需修正的問題。若透過徐昇多邊形（Thiessen's polygons）的分析方法，將空間中各遺址之間的連線作中垂線，可劃分出各遺址所屬的多邊形經濟範圍。但這種分析方式，需特別注意遺址本身及周遭資源的性質，對一個區域採用徐昇多邊形來劃分其遺址的經濟區域時，除了是建立分析對象在時間、規模以及土地利用策略上具有同質性的假設之外，同時也預設了資源只能為一個遺址所開採的情況，而忽略其間可能有的其它互動關係（Roper 1979）。在 Gary Lock 與 Trevor Harris 研究 Danebury 地區的例子中，透過 GIS 運算中密鋪法（tessellation）以及環域法（buffer）的劃分並比較其結果，認為以環域法的分析可以看出防禦要塞（hillfort）及其從屬遺址具有中心與周圍的空間關係，進而推測兩種類型的遺址間的階級關係：要塞一方面可以監視、控制其周邊，另一方面作為提供從屬遺址服務的中地（central place）（Lock and Harris 1996）。

就工具理性方面，許多研究者也希望藉由 GIS 來處理人類對地景的主觀體驗，試圖破除過去研究中利益最佳化與環境決定論的傾向（Lock 2003；Verhagen et al. 1995）。因此，研究者們試圖將地表屬性之外的因素納入分析，使地景等概念得以被量化。Joel Boaz 跟 Espen Uleberg 認為過往的研究多將 GIS 分析的重點放在人類的移動上，多半僅就單一運輸成本的經濟變數加以討論，容易忽略人類對地景的主觀體驗（Boaz and Uleberg 1995, 2000）。Boaz 與 Uleberg 從研究分析結果認為，與挪威東部其它地區相比較，由發現的鐵器時代考古資料如儀式中心、土塚（mound）及其它出土遺物來看，Follo 地區應處於較邊陲之處。在此區域缺乏考古證據的侷限下，文化地景的理論難以觸及史前時代的社會、文化等實際面向的分析，故研究者透過地形差異來尋找具有內在一致性的區域，作為地景空間（landscape room），並以之連接文化地景與現實世界之間的斷層。在其研究中，Boaz 與 Uleberg 透過地表上紀念碑（monument）與土塚間的視域關係，找出可被土塚觀察到、同時也可觀察到紀念碑的區域，以建構出個別地景空間。此視域分析在費由面（cost-surface）之外，提供了研究遺址領域另一個可能性（Boaz and Uleberg

臺灣大學學術期刊資料庫

1995）。除了劃分具有內在一致性的地景空間之外，透過不同時期遺址對其周遭環境的視域，還可進一步了解文化地景的變化。挪威東部的 Oslofjord 地區因為冰川的後退，使得原本被壓入軟流圈的地殼反彈（isostatic rebound），造成此地海陸關係的快速變化。透過視域分析檢視此地中石器時期的遺址，不同時期的遺址人群對海、陸在視域上的掌握有所差異，而動物遺留的狀況也呼應了這視域上的差異，研究者以此為基礎討論海平面與地貌的變化對當地狩獵採集者在生業活動及聚落地點選擇的影響，使得原本以石斧和細石器（microlith）為斷代基礎的中石器文化，能夠深入討論在文化地景上的轉變（ibid.）。

這些遺址集域分析上的修正，皆可以透過地理資訊系統將自然環境的各項因素納入運算，並加以分析。在本文中，將自然環境中的坡度、海流、風向等因素以網格式的資料呈現，並納入費由面的運算，可以使多項運輸成本同時納入考量，以完成對單一成本的修正。另一方面，透過視域分析，將視覺的因素帶入地理空間的討論，以了解遺址對其所處環境及可能的活動範圍中能以視覺掌握的程度，甚至分析出遺址所在環境的地景空間，以進一步討論遺址間的互動關係。最後，透過費由面計算遺址及各項特定自然資源之間的相對成本，則可分析遺址居民在不同資源上所花費的成本，以更細緻的方式了解各資源的重要性。

研究對象

本研究涉及的對象為臺灣南端墾丁地區的幾個新石器時期遺址，包括龜山、猴仙洞、水坑、古山宮、船帆石及鵝鑾鼻第二遺址，這些遺址均包含了鵝鑾鼻第三／四文化相的遺留，時間約在 3000~2000B.P.。[2]

鵝鑾鼻第二遺址（OLP II）位於鵝鑾鼻公園，燈塔西側珊瑚礁石灰岩礁林區內的間隙地，座標為 120°50'32"E、21°54'13" N。海拔 20~40 公尺，面積約 45000 m^2。

船帆石遺址（CFS）位在船帆石聚落東北方的山麓緩坡丘陵上，是座落於丘陵上的大岩蔭下，東側為砂丘，地形上向西邊下降至平地。座標為 120°49'8"E、21°56'12"N，海拔 20~30m，面積約 5000m^2。

古山宮遺址（KSK）位在恆春西部臺地海階，為一開闊的海階平臺，東為較高的海階麓坡，西邊則接珊瑚礁海岸。座標 120°43'4"E、21°55'33"N，海拔 12~20m，面積 10000m^2。

臺灣大學學術期刊資料庫

水坑遺址（SK）同在恆春西部臺地海階，於山海國小與紅柴坑聚落間的隆起珊瑚礁海階上，西接珊瑚礁海岸，東邊則是大平頂臺地山麓。座標為 120°43'31"E、21°58'49"N，海拔 10~15m，面積約 15000m^2。

猴仙洞遺址（HHT）位在恆春西部臺地山麓緩坡，面臨臺灣海峽，為一狹長的珊瑚礁隆起海階山麓緩坡，地勢由東邊的大平頂高位臺地向西南傾斜。座標為 120°40'47"E、22°1'57"N，海拔 11~20m，面積約 20000m^2。

龜山遺址（KS）位在恆春西部臺地的隆起珊瑚礁所形成的獨立小丘，以外形似龜背而得名。座標為 120°41'36"E、22°3'9"N，海拔 15～76m，面積約 155000m^2。

上述遺址除鵝鑾鼻第二於 1981 年外、其餘於 1984 年為李光周所調查發現，李光周根據對墾丁地區的調查研究，將前述遺址或歸為鵝鑾鼻第三或四文化相。但陳瑪玲根據 1994 年對墾丁國家公園海岸地區進行的系統行抽樣地表調查與試掘結果，將上述前五個遺址皆歸屬於鵝鑾鼻第三／四文化相的遺址。其從陶片排隊法、層位、熱釋光分析與 C^{14} 定年所得的結果，認為在過去研究中被劃分為二的鵝鑾鼻第三與第四史前文化相應屬單一的文化體系（李光周 1985；陳瑪玲 2000；Chen 1997, 1998）。另龜山遺址則在 1993 年劉益昌與李匡悌的調查中將文化層分成龜山文化與鳳鼻頭文化（劉益昌、李匡悌 1993），後者在名為「臺閩地區遺址普查研究計畫」之計畫中被歸屬為鵝鑾鼻第三／四文化相（臧振華 1994a）。根據猴仙洞、水坑、船帆石、鵝鑾鼻第二以及蕃仔洞五處遺址的發掘及地表調查結果，這些遺址出土的陶容器在口緣類別、直徑、頸長及厚度等變數並未有特定集結的現象，因此可以推論不同功能的陶器皆有可能出現於所分析的遺址中，而非單一集中於特定遺址。加上非陶器物如石器、骨器及貝器等所表現具有多功能、多用途器物類型的存在，以及至少一種以上的生業器物類型，進一步推論各遺址具有相似的功能，且可能為居住性遺址。同時，就這些遺址所分布的區域在氣溫、雨量及海洋資源上皆相似且無季節上的差異，故推論遺址當屬全年性的居住地。而原先因著歸屬於不同的兩個文化，在聚落型態上的差異被詮釋為不同的文化選擇，因著文化歸屬的重新界定與遺址功能的分析，而重新被詮釋為是在不同地理環境中，為適應強大的落山風而進行選擇的結果。這六個遺址如龜山遺址與鵝鑾鼻第二遺址雖然各有多時期的文化遺留如龜山文化、鵝鑾鼻第一、第二史前文化相等，但皆有鵝鑾鼻第三／四文化相的遺留，因此在本研究中放在同一架構下進行討論。概念上是以分析、處理這些遺址的鵝鑾鼻第三／四文化相與其遺留物為要，視這些遺址在此時期是同時為擁有鵝鑾鼻第三／四文化特質之人群所居住，而加以討論其集域與地景空間以及可能的互動關係。

臺灣大學學術期刊資料庫

在此一前提下，我認為各遺址必定需要足夠的集域空間才能有充裕的資源以維持獨立，否則便須另尋它法如交換、掠奪等以取得資源。而過去也有研究指出，鵝鑾鼻第三／四文化相各遺址之間的自然環境存在著些微的差異。其中曾被特別指出的，是以環域分析的方式比較龜山遺址與鵝鑾鼻第二遺址在不同半徑範圍內的土地利用，認為兩遺址五公里環域內的海陸分布以及四重溪、保力溪所提供的淡水資源使龜山遺址在海域環境的條件不如鵝鑾鼻第二遺址來得多元，因此在生業活動上較偏向陸域及淡水環境，並且反映在漁獵工具、貝類遺留以及人骨的 ^{13}C 與 ^{15}N 同位素上（劉益昌、李匡悌 1995）。

雖然在前述研究中龜山與鵝鑾鼻這兩個遺址所出土的人骨樣本有限，不足看出同位元素差異的顯著性，亦無法推論兩遺址人群的飲食偏好，但兩遺址在漁獵工具如網墜、魚卡子與魚鉤的形制在比例上確有差異存在，或許足以顯示這兩個遺址在取得自然資源手段上的偏好。但一方面，從人骨及器物的研究中，僅能顯示出這些遺址的史前居民取得自然資源的工具與方式，而未能從其它生態遺留上分析其所真正使用到的動物資源為何。另一方面，採取不同的漁獵工具不應被單純地視為是反映自然環境狀況，也有可能是在人群互動下所造成的結果，尤其是在龜山遺址附近不到五公里處即有一同時期的猴仙洞遺址存在，兩者的互動關係也有可能影響彼此的活動範圍，進而限制取得某些特定資源的能力。

2006 年鄭建文在鵝鑾鼻第二遺址所進行的發掘中，出土的動物遺留包含多種類型。經過整理與簡單的分類後（圖 1），可辨識出的海生動物包括有劍旗魚、鬼頭刀、鯊魚和海龜等種類，陸生則有鹿、野豬、山羌等（鄭建文 2009）。海生魚類遺留中數量最多的是脊椎骨與肋骨，難以確定其部位及最小個體數（MNI）（Reitz and Wing 2008），因此雖然其在動物遺留中的比例高，但並不能代表該遺址實際對動物資源獲取狀況。

臺灣大學學術期刊資料庫

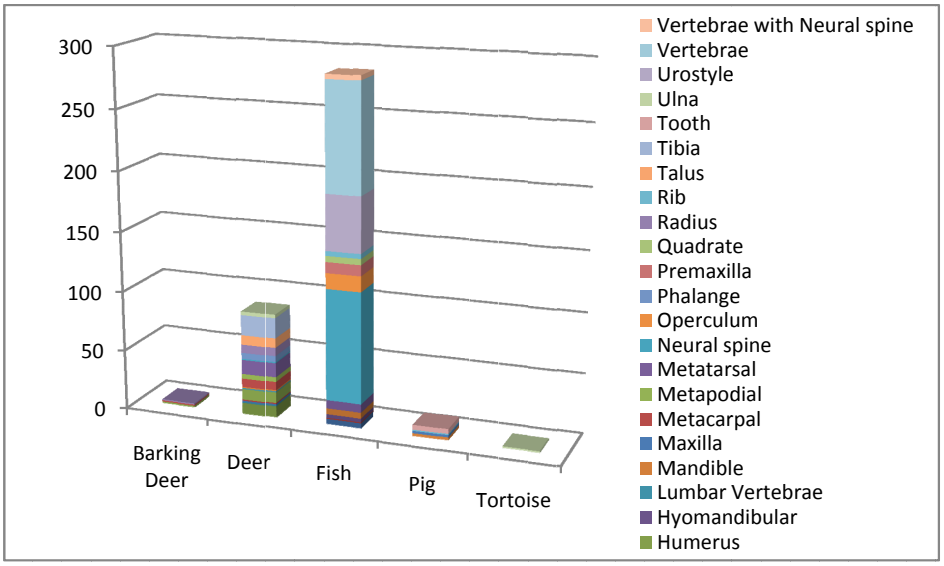


圖 1　2006 年鄭建文所發掘動物遺留整理

依據上述出土遺留與現生資料推測，遺址居民在史前時期所攝取的動物資源應是來自於周遭廣大的範圍，但在陸上動物方面，由於近代對此一區域的大量開發，以鹿科動物為主的陸生動物分布已與過去大相逕庭，難以了解當時的分布範圍，因此無法藉此推測遺址居民的活動範圍；海龜雖因產卵使其在活動範圍上有性別差異（Castro and Huber 2005），但在遺址的動物遺留中卻缺乏足以辨識性別的骨盆部位，亦難以討論其獵捕的方式與地點。而旗魚脊椎骨的存在，便成了本研究分析上較有力的材料。由於旗魚並非沿海可取得的動物資源，且其在鵝鑾鼻鄰近海域的分布上，又與其它大型魚類（如棘鰆）重疊，可能是當時重要的海洋資源所在地。由遺址中的旗魚脊椎骨遺留可推測當時居民應具有在這些海域航行並進行漁業活動獲取旗魚的能力，因此，雖動物遺留在各遺址的數量與比例未能得知，但本研究試圖先根據旗魚遺留的存在為基礎，將之視為鵝鑾鼻第三／四文化相各遺址居民的重要資源來建立模型，進而以其在該區域的分布地點作為史前聚落海上活動的目標，並透過在該海域的視域分析來探討其在海上的活動空間是否足以與各遺址在陸上的費由面集域形成地景空間。

就本區域的相關研究可知，鵝鑾鼻第三／四文化相各遺址作為同時期的全年性居住遺址，其集域範圍也應該是全年性為遺址居民所使用，且在各集域範圍的交界、重疊處有產生互動的可能性。配合前段所述以 GIS 的分析對集域分析的修正，在本研究中將以龜山、猴仙洞、水坑、古山宮、船帆石及鵝鑾鼻第二遺址這六處為對象，並以旗魚作為

臺灣大學學術期刊資料庫

當時遺址居民在海上活動的目標，評估這六個遺址在其所處包括陸地、海洋的環境中，是否擁有獨立的集域範圍？這些範圍在視覺上是否也有其獨立性，使其在地景空間內的活動也具有獨立性？若有，則可進一步探討該空間內部自然資源的分布以及遺址內遺留的狀況，以了解鵝鑾鼻第三／四文化相遺址居民的生業活動；若無，則應檢討各遺址之間集域重疊的情形，並探討其可能的互動狀況。

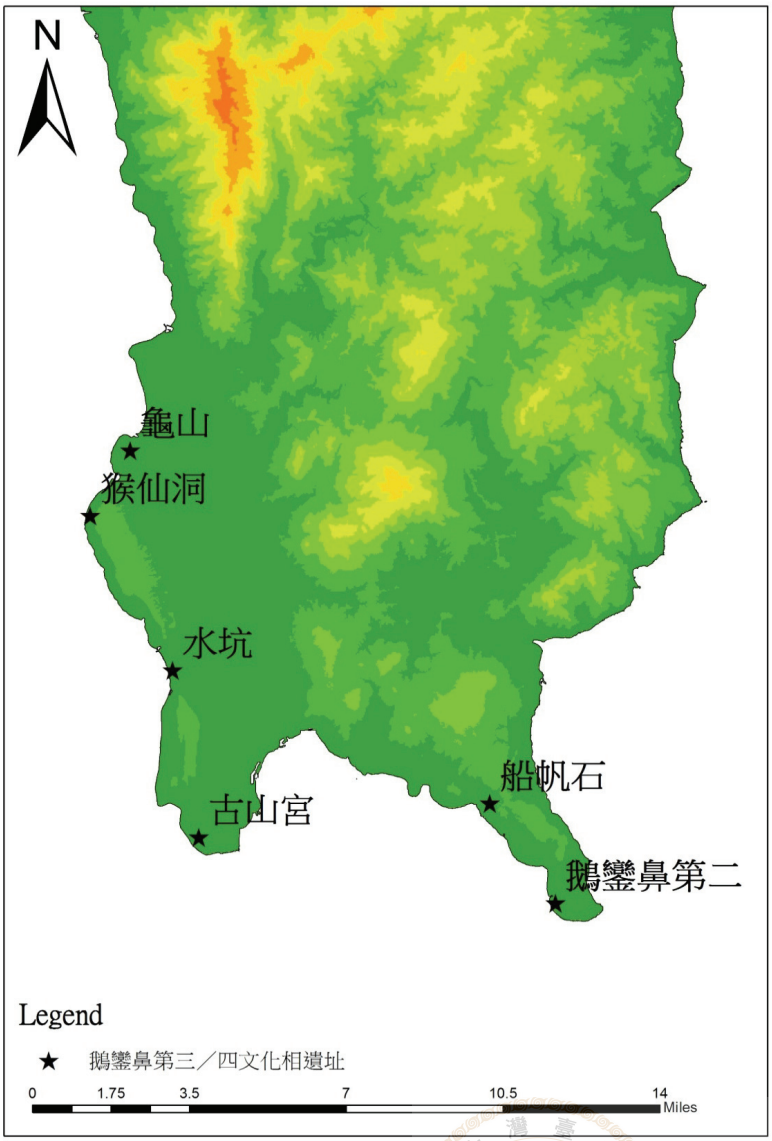


圖 2　本文討論之鵝鑾鼻第三／四文化相各遺址分布位置

臺灣大學學術期刊資料庫

分析方法

本研究的目的在於分析鵝鑾鼻第三／四文化相居民漁獵活動的範圍與可能的形式，因此以集域分析的架構為基礎，將不同變數納入考量，並在 GIS 分析功能的輔助下建立其活動範圍的模型。

集域分析

空間特質的不同使得人類穿越空間時需耗費的成本（cost）也不盡相同，同時也對各種類型的交通工具也會有不一樣的影響。移動成本的性質主要分為三種：均向性（isotropic）、部份異向性（partial anisotropic）以及異向性（anisotropic）（Conolly and Lake 2006）。

在空間中移動的均向性成本是指該成本的產生並不隨移動方向而改變，例如地表特性、植被、空氣摩擦力等等，不管走向哪個方向，都會受到等量的影響。一般的地表粗糙性等因素所帶來的影響不會大於 10%，人為的防禦工事或自然的激流等則往往對人類的移動造成無法穿越的阻礙。

部份異向性的移動成本會因方向的不同而異，但是在取樣的範圍內，產生該成本的方向是一致的。例如受到特定的季節風或行星風系的影響，則移動成本的產生取決於行走方向與風向的夾角而有所差別。

異向性的移動成本則是取決於行走方向以及異質的地表特性所決定，在考古學的 GIS 分析中，最常見的便是坡度，各個空間單位因其與周遭環境地勢高低的關係不同而產生不同的移動成本，造成在空間中的移動難易度的差異（Conolly and Lake 2006）。另外，移動的成本又因移動方向與坡向的角度不同產生差異，因此在進行分析時，必需取得有效坡度（effective slope）。透過 DEM 所得的坡度，還需將行走的方向納入計算，而坡度對移動成本的影響會隨著行走方向與坡向間的方位角（azimuth）大小而改變，當沿著坡面行走時，坡度的影響為最大；沿著其它的方向時，則其坡度影響會隨著方向角的增加而減少，使得穿越該地的移動成本也隨之降低（ibid.: 217-218）。

鵝鑾鼻第三／四文化相遺址多座落於沿海的低地，出土的動物遺留也顯示當時居民對海洋資源的需求，因此在其環境中移動所耗費的成本，考慮影響因素可包含坡度、風向、地勢高低與海流等，其中冬天的落山風屬於部份異向性，而地形坡度以及海流狀況

臺灣大學學術期刊資料庫

則是異向性的，至於海水對船隻的阻力則是均向性的成本，值得注意的是，地勢高低在某些公式如相對能量消耗公式中，並不考慮方向性的問題，僅以消耗的能量多寡來評估其移動成本，因此也是屬於均向性的。因此在本研究中，需先將這幾種不同的成本納入考量並結合，以預測鵝鑾鼻第三／四文化相遺址的集域範圍。

在將不同的移動成本計算之後得到的費由面，還可根據整個區域相對於遺址的累計費由面（accumulative cost-surface）進行最低成本路徑（least cost pathway）分析，以推測遺址的居民在地表中移動的可能路線。

1. 陸地上的移動成本

在本研究中，將採取相對能量消耗的公式（ibid.: 220）來計算鵝鑾鼻第三／四文化相遺址居民在陸上的移動成本，此公式是以能量消耗的考量而來，在不同高度的空間裡移動的過程，需要施力以對抗重力來改變物體的位能，而力與沿著施力方向移動的乘積稱為功（$\mathrm{K} = \vec{\mathrm{F}} \times \vec{\mathrm{d}}$），通常用以計算能量。

以此概念為基礎，將移動者的體重與重力視為等值時，在每個網格間移動所耗費的能量可被簡化為角度 s 的正切值，再以 tan1°為比較的基準，則可得到所消耗的相對能量（圖）。雖然此一計算方式會使消耗的能量以 0°為界線，並不符合生物力學的現實狀況（Bell and Lock 2000；Conolly and Lake 2006），但由於所分析的對象為鵝鑾鼻第三／四文化相各遺址居民的移動耗能，所欲了解的是遺址間的比較，採取相同的計算方式仍可進行，因此在本項分析中，仍採用相對能量消耗的公式。在 ArcGIS 軟體中，由於坡度分析與網格運算(raster calculator)所採用的單位並不相同，前者可為度數（°）或百分比（%），但後者卻以弧度（radians）為單位，因此還需對公式進行修正：[3]

$$\mathrm{C} = \tan(0.0175 * \mathrm{s}) / \tan 0.0175$$

透過此一公式的計算方式，可以將鵝鑾鼻地區的數值高層模型（DEM）轉換成相對能量消耗的移動成本地圖（cost map），再分別就含有鵝鑾鼻第三／四文化相遺留的地點進行成本加權（cost-weighting）的分析，這個分析是以遺址為出發點，計算其史前居民往外移動到達每個網格所需花費的累加移動成本，亦即其累計費由面，以評估從各遺址移動到周遭環境不同區域所需耗費的相對能量，可視為遺址在地表上的費由面集域（cost-surface catchment）。

臺灣大學學術期刊資料庫

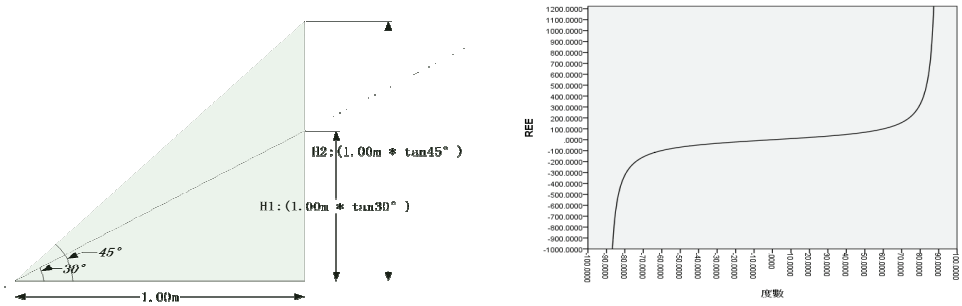


圖 3　坡度與相對能量消耗關係圖

（移動者在負重相同時，從坡底沿不同角度移動到坡頂，對抗重力所作功的比為 H1/H2，可簡化成tan 45°/tan 30°，以tan 1°為底，便是相對能量消耗公式的來源。（Conolly and Lake 2006）其消耗模式呈 tan 曲線。）

2. 海上移動成本

海流的方向對於航具的移動會產生阻礙或助力，而風向對不同航具的影響方式也有所不同，因此在本節中將討論如何以現有的海流與風向資料來建立海上的費由面集域。

國科會海洋學門資料庫（http://www.odb.ntu.edu.tw/）存有透過海洋研究船以單音束測深儀（Single Beam Echo Sounding, SBES）與船載都卜勒流剖儀（Ship-Board Acoustic Doppler Current Profiler, Sb-ADCP）取得並整理的水深以及海流資料，記載了海上不同地點的海底深度以及不同層的海流速度。風向與強度的資料則以中央氣象局恆春測站[4]的終年逐日風向風速資料為主，歸納出在墾丁、鵝鑾鼻地區十月到四月的冬季風向以 220°為主，以及六、七月的夏季風向則是 110°。[5]

從氣象測站所得的風向資料可知，墾丁、鵝鑾鼻地區的風向有顯著的季節差異，因此為了有效地評估海流與風向對航具的共同作用，在本研究中將海流的速度與方向資料依照風向的季節作分隔，並以 ArcGIS 的內插工具（Kriging），配合 DEM 的解析度建立 40m*40m 網格資料。

但在海面上航行，海流的速度與產生的阻力並非成正相關，而取決於海流本身方向及航行的方向，因此就人力與風力兩種可能的航行方式，將墾丁、鵝鑾鼻地區海域的海流與風向進行結合，以評估自遺址附近的海岸向外海移動的成本。若以人力為航具的動力，則海流速度會以海流與航行方向夾角餘弦值為倍數影響航具的前進；若以風為動

臺灣大學學術期刊資料庫

力，則須將海流速度乘上與當季風向夾角的餘弦值：$Speed = V_c \times V_x \times \cos\theta$
其中 V_c 為海流速度，V_x 為動力速度，θ 則為動力方向與海流的夾角。在考慮海上的移動成本時，必定得先設想其動力來源。但目前已知的考古材料並沒有辦法推測當時居民所使用的船隻形式、大小、負重能力以及動力來源，須以不同的動力源進行各自的成本計算，再以之為基礎建立模型，以待更進一步的驗證。

另外，除了考慮海流與風向資料均以每秒移動公分（cm/s）為單位，得將單位換算來修正在不同尺度下影響移動的顯著性之外，速度的大小與成本的高低是成反比的，還須轉換為倒數以符合成本的運算。

而海上特定地點與陸地間的距離，也是進行海上活動的影響因素之一，離海岸越遠則所需花費的成本越高。因此以臺灣海岸線為基準，在 ArcGIS 中以歐幾里得距離（Euclidean Distance）運算工具可得其向外的直線距離，即其距海遠近的成本，記為 EuD，在分析區域的最大值為 2300.97。綜合上述條件，則在海上移動的成本計算應為：

$$Cost = \frac{150}{Speed \times e^{-EuD/2300.97} + 73}$$

其中以 $-EuD/2300.97$ 作為自然常數 e 的指數是為了使其數值大小所代表的意義與速度相同，即數值大者成本較小；分母所加的 73 是為了將速度為負的部份變為正值，以方便成本加權的分析；分子的 150 為大於分母的最大整數值，使整體的成本大致以 2 為平均值。

為了評估各遺址於不同季節往海上發展的潛力，在本研究中分別以冬、夏兩季風向為動力來源加入移動成本的考量建立兩個模型。但由於遺址並非剛好位在海陸交會之處，且沒有清楚的出海口資料，因此須依陸上移動的成本考量，選擇遺址附近海岸距離較近、移動成本較低且坡度較低的地點為假設出海處，進行海流與風向成本的成本加權分析，以建立海上的費由面集域。

由於海生動物遺留出現在陸地上的遺址，代表史前居民在取得動物資源後又回到了陸地上，為了評估遺址對特定資源的利用，需將去程與返航的移動成本同時納入計算，因此需要假設其航行目的地〈其它遺址或特定的海洋資源分布地點〉。在鵝鑾鼻第二遺址所出土的動物遺留中，鬼頭刀科（*Coryphaenidae*）和旗魚科（*Istiophoridae*）這兩類的浮游魚類在數量上具有一定的比例，前者在臺灣南端海域的分布主要是在沿海地區，但後者的分布卻在鵝鑾鼻半島與貓鼻頭兩個端點的外海較遠處，而該地區尚有棘鰭

臺灣大學學術期刊資料庫

（*Acanthocybiumsolandri*）的分布（王德琦 1985），因此在海上集域的部份，將選擇以這兩類大型海洋資源為目標，假設其為遺址往外海移動所欲捕獲的對象，以假設出海口進行成本加權分析，來建立在海上前進的費由面集域。

視域分析

人類感知其環境的一個重要影響因素是視覺，而視域分析主要是為了理解空間中某些特定地點如遺址、紀念碑、墓葬甚或是特殊的地景特徵，在視覺上觀察其環境或被觀察的狀況，進而評估其被使用情形或在文化地景概念認知中的重要性。在 GIS 的分析上是藉由分析地表上兩點間直線與 DEM[6] 相交的狀況，來評估從特定的觀察點（viewpoint）所能看到的範圍（Conolly and Lake 2006；Wheatley 1995）。由於視域分析考量的是人的視覺因素，人的視力、觀察角度與高度也將影響到不同地區的視域，使得兩地之間的相互視野可能會不相等，而需將遺址作為觀察者與被觀察者兩種狀況進行分析。同時，根據觀察者與被觀察者在數量上的不同，有幾種不同類型的分析計算（Conolly and Lake 2006）。

在本研究中，先透過運輸成本的分析，了解鵝鑾鼻第三／四文化相各遺址間能維持獨立的費由面集域，再以視域分析檢視這些遺址居民可能的活動範圍內，是否具有視線上的內在一致性。透過遺址內部所出土的旗魚遺留推測，旗魚分布的海域應為其活動的範圍，因此除了以遺址的集域範圍作為觀察點之外，再將從遺址前往最近的旗魚分布地點的路徑作為視域分析的觀察點，並累加其結果，則可釐清在地表成本以及視域上自成一格的範圍，藉以劃分出鵝鑾鼻第三／四文化相各遺址所在環境的地景空間。最後，再透過對這些地景空間內部的檢視來討論各遺址人群可能的互動關係。

分析與結果

在研究步驟上，首先從地表的移動成本進行分析，再以視域分析檢視其活動範圍在視覺上的一致性，以了解各遺址居民在彼此距離遠近不一致的情況下，是否具有獨立活動範圍的可能性。

臺灣大學學術期刊資料庫

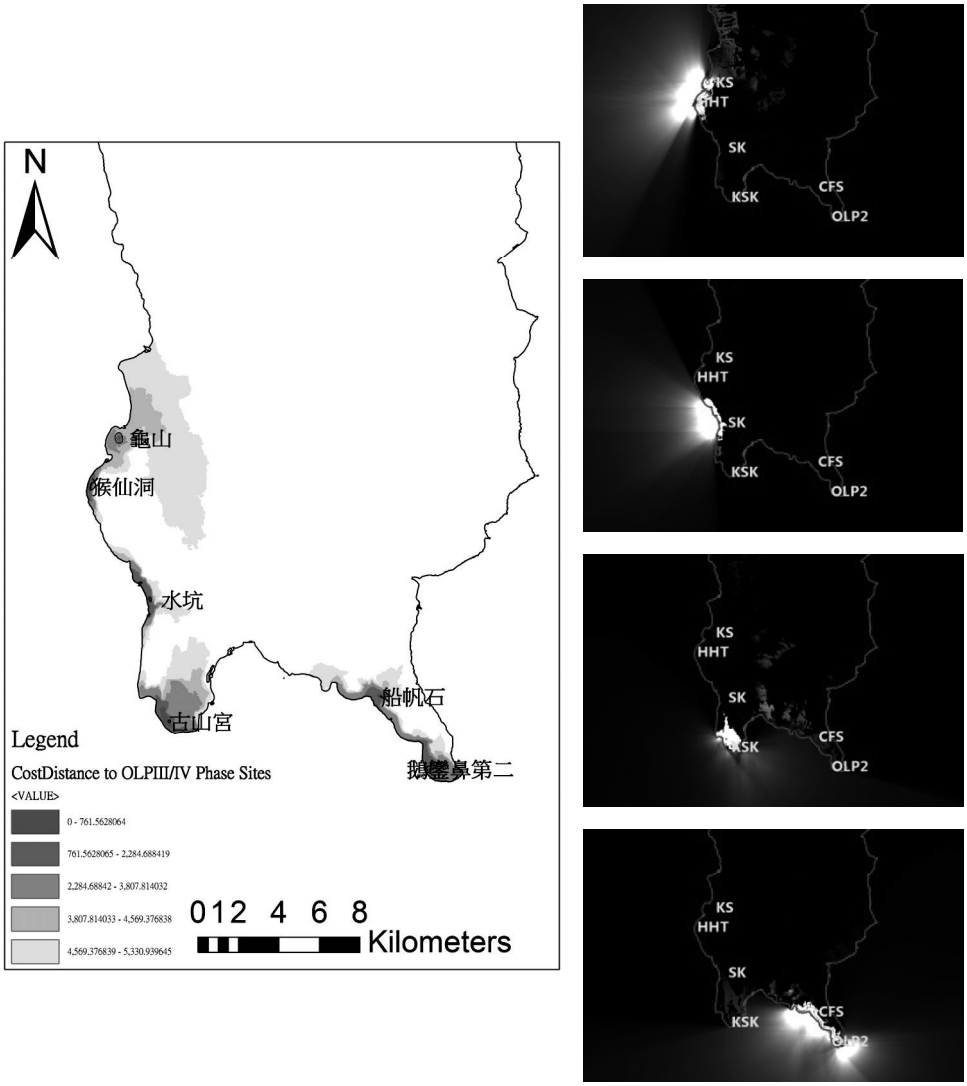


圖 4　鵝鑾鼻第三／四文化相遺址的地景空間

（左圖中顏色越深，表示從遺址到達該區域的易達性越高、能量代價越低；顏色越淺，表示易達性越低、所花費的相對能量越多；白色部分則未納入計算。右方四個小圖則為各遺址鄰近地區和前往最接近的旗魚分布地點路徑的視域範圍，越接近白色表示可見度越高。）

此分析結果顯示，就六個遺址向外移動的地表成本來看，在相同的成本下各遺址可向外移動的範圍如圖 4 所示。以相對能量消耗作為地表成本計算從各遺址向外移動的累計成本所得的費由面集域，代表的是從各遺址出發花費相同能量所能到達的區域，是一

臺灣大學學術期刊資料庫

相對性的概念，無法將其數值轉換為絕對的時間或空間距離。

從圖上可看出，其中猴仙洞、水坑、船帆石以及鵝鑾鼻第二遺址因為地形的因素，在較短的距離內便需消耗較多的能量，因而呈現腹地較小的狀況，龜山與古山宮遺址則分別因為恆春縱谷及貓鼻頭半島較平緩的地形影響，能以較少的代價到達較遠的距離，擁有較大的腹地。若以相同的地表成本來看，可大致將這些遺址分成四組：龜山／猴仙洞、水坑、古山宮、船帆石／鵝鑾鼻，各佔據四個區域。再以這六個遺址的費由面集域進行視域分析，可以發現這些區域不但在集域範圍上相互獨立，視域範圍也具有其內在的一致性（圖 4），應足以顯示四個區域可被視為獨立的地景空間，此結果也間接印證了早期研究所認為水坑遺址及古山宮遺址具備生業獨立的條件（陳瑪玲 2000）。

但在最北及最東的兩個區域，在同一個地景空間內卻有兩個遺址的存在（龜山／猴仙洞、鵝鑾鼻／船帆石），顯示了其中龜山／猴仙洞遺址與鵝鑾鼻第二／船帆石遺址這兩組遺址有因集域範圍重疊而相互干擾的可能性。其中東邊船帆石與鵝鑾鼻第二遺址所在的地景空間，由於空間上距離較遠，地形環境也較一致，較可能維持彼此獨立的狀況。北邊猴仙洞遺址的集域範圍則因沿海階地的地形，在陸地上的活動範圍可能受到龜山遺址的擠迫，在此情況下，是否會影響猴仙洞取得陸上資源的能力與狀況？其選擇是與龜山遺址居民相互合作，或是兩者之間存在著競爭關係？

為了了解此二遺址之間的互動關係，必定得將其生業活動的方式釐清。就兩個遺址所出土的考古遺物來看，猴仙洞雖有較多的漁業相關工具，但其整體遺物的數量並不多，這可能因為遺址的保存環境或取樣策略等種種因素，造成資料無法提供確切的證據。透過對海上移動成本的分析，或可就生態環境的差異討論兩者在生業活動上的條件，因此以海流與風向作為影響在海上移動成本的因素，分析史前居民從遺址出發前往旗魚這類大型魚類資源分布區域所需耗費的移動成本，結果如圖 5 所示。

臺灣大學學術期刊資料庫

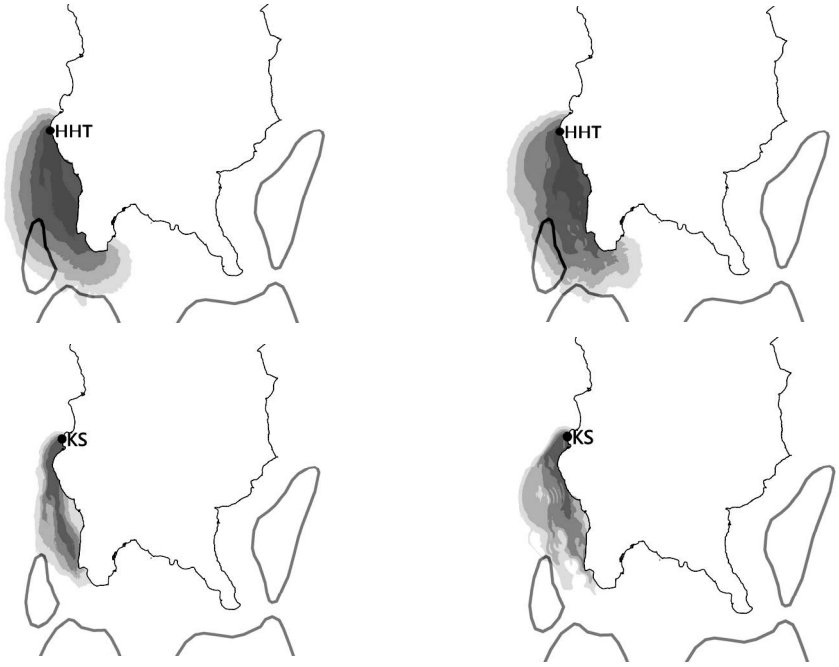


圖 5　猴仙洞（HHT）遺址與龜山（KS）遺址於冬、夏二季對旗魚漁場的移動成本比較（上排為猴仙洞遺址向外海移動的成本，顏色越深表示易達性越高、移動成本越低，越淺則表示易達性越低、移動成本越高；左圖為冬季、右圖為夏季。下排為龜山遺址向外海移動的成本，顏色表示同上；季節同上。另外，旗魚的分布地點〔王德琦 1985〕以粗框表示，共分為四塊。）

由圖 5 可見若將海上活動的情況加入考量，則可發現龜山遺址在冬、夏二季時都因海流與風向的影響，使其需比從猴仙洞遺址出發要花費更多移動成本以取得南方海域中的旗魚資源（圖 5 深藍色區域）。若就海洋環境來看，從猴仙洞遺址出發可藉其南方沿海海流的幫助，比從龜山遺址出發要更容易取得旗魚的資源。因此，雖然就陸上的移動成本及視域範圍來看，此二遺址位在同一個地景空間內，且猴仙洞遺址的發展空間較狹小，但由於海上移動成本上的差異，龜山與猴仙洞遺址很有可能因為各自佔據了山與海的不同資源，使得其生業活動仍擁有維持獨立的條件。

討論與結論

在臺灣南端的鵝鑾鼻第三／四文化相各遺址，從出土的陶容器及其它遺物來看，應

臺灣大學學術期刊資料庫

屬生業獨立的居住型遺址，熱帶季風氣候則提供了遺址作為終年性居住聚落的可能性（陳瑪玲 2000）。本研究藉助 GIS 分析功能，先以鵝鑾鼻半島的地形限制切入，得到這些遺址大致上有彼此獨立的集域範圍的結果，並就陸上的集域範圍與海上資源分布地進行視域分析，得知其在地形與視覺掌握上具有內在的一致性。此分析顯示當時遺址居民的集域範圍有可能與此一費由面與視域分析所得之地景空間相對應，並在其中進行生業活動。但部份遺址的分布與地景空間不完全相符，其中龜山遺址與猴仙洞遺址位在同一個地景空間，但卻可能因為沿海階地的狹窄地形使猴仙洞遺址居民的陸上活動範圍受到限制，甚至因而影響其生業活動的選擇，並反應在遺址內部的考古遺留上（陳瑪玲 2000；劉益昌、李匡悌 1995）。

但僅從陸上的自然條件來解釋各遺址生業型態上的差異，預設了陸域資源對於史前居民有較正面以及較多的影響，忽略在鵝鑾鼻第三／四文化相遺址中出土大量海生動物遺留所顯示的海洋資源的重要性。就陸上的移動成本來看，猴仙洞遺址的腹地狹小，使得龜山遺址的存在阻礙了猴仙洞遺址居民向外移動的能力；但反過來說，龜山遺址居民在海上的活動也同樣因海流與風向的影響，使其對南方海域的資源獲取上有受到猴仙洞遺址居民阻礙的可能性。而龜山遺址出土的遺留顯示出對陸域資源的依賴，是因為陸域的便利性或是海域上的受阻，在過去的研究中並未釐清。

藉由 GIS 的幫助，對於鵝鑾鼻第三／四文化相遺址居民的活動範圍，可以就海、陸地理環境建立以遺址為中心的集域範圍及地景空間模型，一方面印證過去研究認為各遺址生業活動上的獨立性，另一方面也進一步釐清了龜山與猴仙洞遺址在地理區位上的差異並不只是陸域資源的不平均，而是在海、陸兩方面的資源也各據一方。這個在海、陸地理區位上的差異是否會對其生業活動產生影響，應可以透過對動物遺留或是漁獵工具在系統抽樣以及量化資料上找到更進一步的證據，也是日後研究兩者關係可發展的方向。

如果這些史前人群的確受到環境因素的影響而取用不同的動物資源，則在動物遺留以及漁獵工具上應會顯示出此一差異，亦即猴仙洞遺址可能會出土較多的魚叉、網墜等漁業工具以及海洋動物遺留；而龜山遺址則會有較多的矛、鏃及陸生動物遺留。若只有漁獵工具有較顯著的差異，動物遺留卻沒有，則很有可能兩個遺址的人群之間有交換的互動行為，造成他們採用不同的生業策略，卻透過社會關係網路的建立，以交換互補的方式來取得彼此較難以取得的動物資源。

臺灣大學學術期刊資料庫

但若在生業工具及動物遺留上均未顯示出顯著的差異，則表示以移動成本作為取得動物資源主要變數的模型不足以全然解釋史前的生業活動，而可能有其它如文化偏好等因素的影響，使其動物資源的價值超過了其所付出移動成本的考量，或是他們並未依賴工具理性進行決策，甚至有可能其在地表上移動的能力遠高於此模型的假設。如此一來，就應進一步修改模型中移動成本的影響力，以尋求更貼近此區史前人群的實際狀況。

總結來說，透過 GIS 功能的整合，才能將考古遺址及其周遭自然環境的因素放在單一的模型中相互比較，並釐清遺址作為過去人群活動地點所擁有的環境條件，才有更深入了解人類行為與自然環境之間的互動狀況的可能性。

附　註

1. R：地租，Y：農作物產量（重量），p：農產品市價／重量單位，c：農產品生產成本／重量單位，*f*：運輸成本／（重量單位*距離單位），m：運輸距離。
2. 本節遺址基本資料皆引用自《臺閩地區遺址普查研究計畫—屏東縣》（臧振華 1994b）
3. 1°約等於 0.017453293 弧度，在此以 0.0175 計算
4. 站號 467590，位置為 120.736354°E, 22.005322°N，恆春鎮天文路 50 號。
5. 其它月份的風向資料並無顯著性，可能還需更長期的觀測資料來進行分析。
6. DEM 又可分為 DSM（Digital Surface Model）與 DTM（Digital Terrain Model），前者的資料表達了地上物的高度，而後者則是去除了植被及建築等地上物後，所呈現的是單純的地表狀態。由於鵝鑾鼻第三／四文化相時期的植被狀況尚未有完整的資料，因此本研究僅以 DTM 進行分析。

引用書目

王德琦編

1985　《墾丁國家公園史前文化及生態資源》。屏東：內政部營建署墾丁國家公園管

臺灣大學學術期刊資料庫

理處。

李光周

1985 《墾丁國家公園考古調查報告》。台北：內政部營建署墾丁國家公園管理處。

陳玉美

2003 〈考古學中人與環境關係的研究：以 Site Catchment 為例〉。《國立臺灣大學考古人類學刊》60：97-114.

陳瑪玲

2000 〈鵝鑾鼻 III-IV 期文化相的聚落模式與系統〉。《國立臺灣大學考古人類學刊》54：63-96.

臧振華

1994a 《臺閩地區考古遺址普查研究計畫報告（第二期）》。台北：內政部。

1994b 《臺閩地區考古遺址—屏東縣》。台北：內政部。

鄭建文

2009 《論台灣史前時代的文化變遷與區域關係：自鵝鑾鼻第二遺址出發的發掘、思考與討論》。國立臺灣大學人類學研究所博士論文。

劉益昌、李匡悌

1993 《國立海洋生物博物館基地龜山史前遺址調查評估研究報告》。屏東：國立海洋生物博物館籌備處。

1995 《恆春半島史前海岸聚落的比較研究—以龜山史前遺址和鵝鑾鼻第二史前遺址為例》。屏東：國立海洋生物博物館籌備處。

Bell, Tyler, and Gary R. Lock

2000 Topographic and Cultural Influences on Walking the Ridgeway in Later Prehistoric Times. *In* Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies. Gary R. Lock, ed. Pp. 85-100. Tokyo: Ohmsha.

Boaz, Joel S., and Espen Uleberg

1995 The Potential of GIS-Based Studies of Iron Age Cultural Landscape in Eastern Norway. *In* Archaeology and Geographical Information Systems: A European

臺灣大學學術期刊資料庫

Perspective. Gary R. Lock and Zoran Stančič, eds. Pp. 249-260. Bristol, PA: Taylor & Francis.

2000 Quantifying the Non-Quantifiable: Studying Hunter-Gatherer Landscape. *In* Beyond the Map : Archaeology and Spatial Technologies. Gary R. Lock, ed. Pp. 101-115. Tokyo: Ohmsha.

Castro, Peter, and Michael E. Huber

2005 Marine Biology. New York: McGraw-Hill.

Chen, Maa-ling

1997 Settlement Patterns, Subsistence Systems and Their Changes in Kenting National Park During O-Luan-Pi Phases III and IV. Ph.D. dissertation, Department of Anthropology, Arizona State University.

1998 What Dating Result Imply: Redefining the separation of OLP Phase III and Phase IV, and the Potential Relationship between OLP Phase II and III. 《國立臺灣大學考古人類學刊》53：125-144.

Chisholm, Michael

2007 Rural Settlement and Land Use. New Brunswick: Aldine Transaction.

Conolly, James, and Mark Lake

2006 Geographical Information Systems in Archaeology. New York: Cambridge University Press.

Flannery, Kent V., ed.

1976 The Early Mesoamerican Village. New York: Academic Press.

Gaffney, Vincent, and Zoran Stančič

1991 GIS Approaches to Regional Analysis: A Case Study of the Island of Hvar. Ljubljana: Znanstveni inštitut Filozofske fakultete.

Higgs, Eric Sidney

1975 Site Catchment Analysis: A Concise Guide to Field Methods. *In* Palaeoeconomy. Eric Sidney Higgs, ed. Pp.223-224. London: Cambridge University Press.

臺灣大學學術期刊資料庫

Higgs, Eric Sidney, and Claudio Vita-Finzi

1972 Prehistoic Economies: A Territorial Approach. *In* Papers in Economic Prehistory. Eric Sidney Higgs, ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Lock, Gary R.

2003 Using Computers in Archaeology: Towards Virtual Pasts. New York: Routledge.

Lock, Gary R., and Trevor M. Harris

1996 Danebury Revisited: An English Iron Age Hillfort in a Digital Landscape. *In* Anthropology, Space and Geographic Information Systems. Mark S. Aldenderfer and Herbert D. G. Maschner, eds. Pp. 214-240. New York: Oxford University Press.

Reitz, Elizabeth Jean, and Elizabeth S. Wing

2008 Zooarchaeology. New York: Cambridge University Press.

Roper, Donna C.

1979 The Method and Theory of Site Catchment Analysis: A Review. *In* Advance in Archaeological Methods and Theory. Michael B. Schiffer, ed. Pp.119-140. New York: Academic Press.

Smith, Adam

2009[1776] 《原富》(An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations)。嚴復譯。台北：臺灣商務。

von Thünen, Johann Heinrich

1947[1826] 《孤立國：孤立國與農業及國民經濟之關係》(Der Isolierte Staat)。顧綏祿譯。上海：正中書局。

Verhagen, Philip, James McGlade, Silvia Gili, and Roberto Risch

1995 Some Criteria for Modelling Socio-Economic Activities in the Bronze Age of South-East Spain. *In* Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective. Gary R. Lock and Zoran Stančič, eds. Pp.187-209. Bristol, PA: Taylor & Francis.

Wheatley, David

臺灣大學學術期刊資料庫

1995 Cumulative Viewshed Analysis: A GIS-Based Method for Investigating Intervisibility, and Its Archaeological Application. *In* Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective. Gary R. Lock and Zoran Stančič, eds. Pp. 171-186. Bristol, PA: Taylor & Francis.

Zvelebil, Marek

1983 Site Catchment Analysis and Hunter-Gatherer Resource Use. *In* Ecological Models in Economic Prehistory. Gordons Bronitsky, ed. Pp.73-114. Tempe, Arizona: Arizona State University.

臺灣大學學術期刊資料庫