

地理資訊系統應用於傳染流行病的 疫情偵測、數據分析與速效控制

溫在弘¹ 金傳春² 蕭朱杏³
嚴漢偉⁴ 范毅軍⁵ 蘇明道^{1,*}

TZAI-HUNG WEN¹, CHWAN-CHUEN KING², CHUHSING KATE HSIAO³, ERIC YEN⁴

I-CHUN FAN⁵, MING-DAW SU^{1,*}

- ¹ 國立台灣大學生物環境系統工程學研究所，台北市大安區羅斯福路四段一號
Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University, No.1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei, Taiwan.
 - ² 國立台灣大學公共衛生學院流行病學研究所流行病學組
Division of Epidemiology, Institute of Epidemiology, College of Public Health, National Taiwan University.
 - ³ 國立台灣大學公共衛生學院流行病學研究所生物醫學統計組
Division of Biostatistics, Institute of Epidemiology, College of Public Health, National Taiwan University.
 - ⁴ 中央研究院計算中心
Computing Centre, Academia Sinica.
 - ⁵ 中央研究院歷史語言研究所
Institute of History and Philology, Academia Sinica.
- * 通訊作者Correspondence author. E-mail: sumd@ccms.ntu.edu.tw

目標：傳染病的突然爆發式流行，最需「及早」防疫，以減少「零星病例」而有足以燎原的趨勢，尤其對新滋生傳染病(如第71型腸病毒)，或流行多起始於「境外移入病例」(如登革熱與登革出血熱)。**方法：**應用「地理資訊系統」(geographic information system, 簡寫為GIS)的觀念於公共衛生的領域，包括深入探討地理資料型態、模式分析與統計檢定，偏重研討地理空間資訊(geo-spatial information)在協助傳染流行病疫情控制之重要性，如尋找病媒蚊滋生之防疫死角(空地、空屋或工地等)以及病例的感染來源。**結果：**本研究群已展開跨領域的合作研究，並呼籲趁早推動國內中央與基層衛生單位逐漸開始建立地理空間資訊的觀念。**結論：**地理資訊系統應用在疫病控制上仍有許多潛在問題，但是隨著地理資訊軟體的功能日益擴充、價格漸廉以及空間資訊之推廣教育，期能未來以地理資訊系統配合該地更健全的傳染病偵測系統、新興研發之生物統計方法與電腦軟體，確實協助公共衛生單位擬定更迅速有效的疫病防制策略。(台灣衛誌 2002；21(6)：449-456)

關鍵字：地理資訊、傳染病、流行病特徵、偵測系統、疾病地理擴散

Application of geographic information systems to epidemiological surveillance, data analysis, and effective control in infectious disease

Objective: Sudden epidemic of an infectious disease urgently needs early prevention and control measures for minimizing the cases leading to an epidemic, particularly on emerging infectious disease (enterovirus 71) or an epidemic strongly associated with imported cases (dengue fever/dengue hemorrhagic fever). **Methods:** Application of geographic information science (GIS) plus geo-spatial information to public health, including data types, data models, data analysis and statistic tests, will be very useful in immediate control of infectious diseases, such as searching for dead corners of vector-breeding sites (empty ground, or empty houses) and sources of infection among those cases. **Results:** We initiated multi-disciplinary research collaboration on important infectious diseases in Taiwan and advocated its usage and advantages to local health bureaus and central government health agencies. **Conclusion:** Although potential problems of the application of GIS and its integration with different information systems exist, the lower cost of developing software and extension of educational purposes plus newly developed biostatistic analysis methods in future years will be very helpful in monitoring the dynamic transmission of pathogenic microbes. They will provide the most effective approaches in prevention and control strategies of infectious diseases. (*Taiwan J Public Health*. 2002;21(6):449-456)

Keywords: geographic information, infectious disease, epidemiologic characteristics, surveillance system, disease geographic diffusion.

前言

嚴重病徵罹病率與致死率較高的傳染病一旦爆發流行，往往造成民眾恐慌，對社會產生極大之衝擊。許多重大傳染病，例如登革熱/登革出血熱[1]、第71型腸病毒[2]、流行性感冒[3]等等，在近幾年間曾經造成台灣全島性或是地區性的流行，對民眾健康威脅有較大的影響，如何「及早」防疫，是疾病流行是否能迅速有效控制的最重要成敗關鍵。

流行病學理論上一向重視以「人」、「時間」以及「地區」三個維度來描述疾病發生與致病機制因素之研析[4]。但是往昔流行病數據的研究分析，往往偏重於「人」－「時間」或「人」－「地點」之關係，而「空間」的面向通常僅以病例之居住地點為主，甚少由「空間」面向，整體評估傳染病流行之「人、時、地、危險因子」之間互動關係。因此，本文擬以「地理資訊系統(geographic information system, 簡寫為GIS)」的觀念，研討地理空間資訊(geospatial information)在傳染流行病疫情控制之重要性，並從「空間」－「時間」兩觀點同時切入，整合空間資料的分析方法與聚集病例的統計檢定，期能協助疾病管制單位進行疫情爆發前之早期預警(early warning)。

材料與方法

一、地理資料型態(Geographic Data Types)

地理資訊通常是由兩種資料型態所構成：「空間資料(spatial data)」與「屬性資料(attribute data)」[5]。第一種型態的「空間資料」通常以「點」、「線」或是「多邊形(polygons)」的方式，來描述地理分布的空間關係與相對位置。例如：受疾病感染的人口居住分布，可以用「點」的方式以紀錄每一個受疾病感染的人口居住的位置；而河川、道路或是鐵路，可以用「線」的方式紀錄；此外，行政區域或是土地利用分區等可以用「多邊形」加以紀錄。第二種型態的「屬性資料」描述這些空間資料的特徵、性質或是相關變數因子資料

等。例如：受疾病感染的人口居住分布(如圖一所示)。綜言之，「空間資料」描述發生地點的所在位置，而「屬性資料」描述這些病患或感染者的入口學變項(如：姓名、性別、年齡以及工作性質等)以及臨床數據(如：發病日或不同病徵等)的資料[5]。

二、地理資料模式(Geographic Data Models)

建置地理模型的目的是用來模擬或分析實體世界的現象，因此通常分別使用兩種資料模型來描述實體世界：「向量式資料(vector data)」以及「網格式資料(raster data)」[5]。第一類的「向量式資料」是以紀錄座標位置的方式(如圖二a)，用以描述與儲存點、線以及多邊形等空間資料，因此這種資料模型具有明確的邊界，故適合用於具有人為邊界的地理資料，例如：行政邊界、土地利用分區等等。第二類的「網格式資料」則是將資料儲存在固定大小的網格中(如圖二b)，這種資料模型適用於無法界定明確邊界之地理資訊，通常用來處理具有連續變化特性之自然邊界，例如：地形高度、坡度、氣象分布以及土壤質地等[5]。

三、地理資訊系統的分析功能

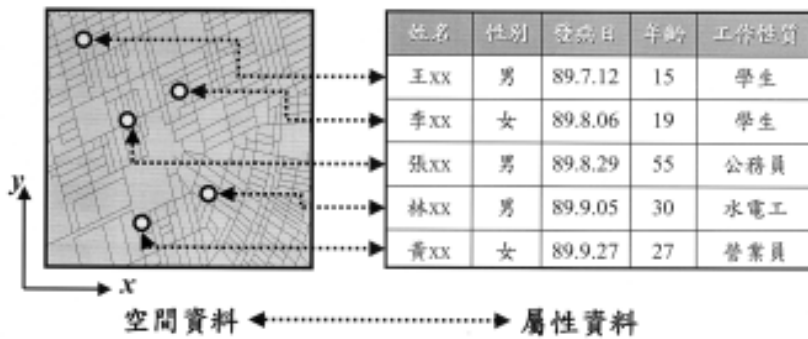
「地理資訊系統」是能夠將地理資料進行儲存、擷取、查詢、展示及分析處理之電腦應用軟體[5]。應用地理資訊系統的主要目的是協助空間決策的輔助工具，而控制疫病的空間決策，包括傳染病的確定病例是否多數集中在某個地區、造成流行的「感染源」(source of infection)何在、傳染病的散播方向是自何處移動至何處的趨勢等[6]。因此，應用地理資訊於疫病控制的分析功能有下列兩種：

(一)環域分析(buffering analysis)

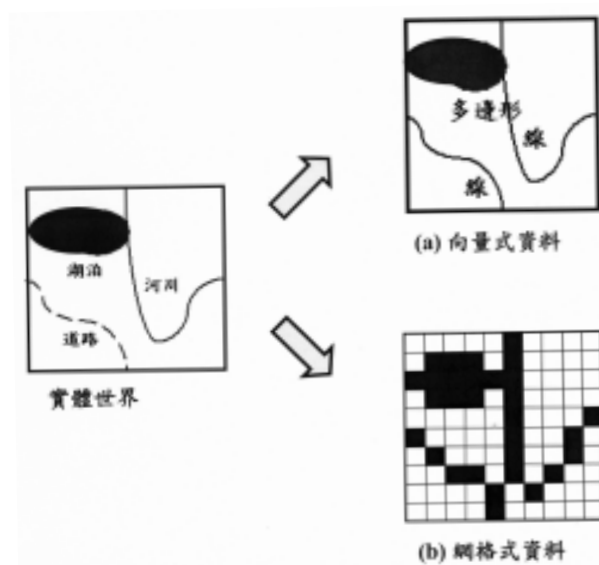
往昔台灣的傳染流行病學探究大部會均仰賴醫生的「被動式」通報病例，此法在病徵不明顯或醫師漏報時，往往難以掌握察覺疫情之先機，因此若能針對疫情開始的幾個「指標病例(index case)」，例如2002年高雄地區4-5月的登革熱病例，透過地理資訊系統之「環

投稿日期：91年8月12日

接受日期：92年3月12日



圖一 病患或感染者的屬性資料與居住分布之空間地理資料



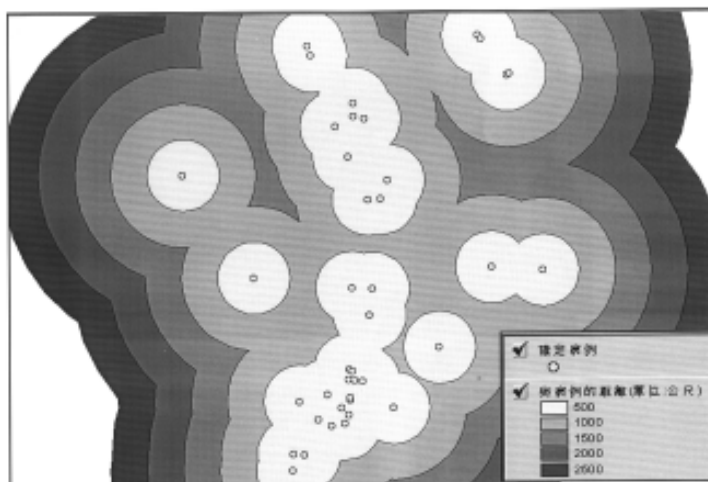
圖二 分析實體世界的兩種地理資料模式

域分析」功能，可評估劃定擴大「主動偵測」之範圍，有效迅速找出病徵不明顯的病例。換言之，環域分析是針對特定的地理物件(例如，病例分布、道路或市場分布等)，選出鄰近的區域，可應用於分析不同流行時間在「距離遠近」對於致病的可能性，同時可以透過擴大範圍尋找不同之危險因子(risk factors)之中，何者最具有相關性，並初步推斷多數疾病所隱含的感染源、傳播方式、接觸型態等，更可以掌握流行的動態趨勢[7]。如圖三所示，以病例為中心，劃定500公尺、1000公尺、1500公尺等範圍之環域地區，防疫單位可針對不同距離之環域地區進行不同程度之

疫情調查與疫病控制。

(二)路網分析(network analysis)

由於現今便捷的交通往來與複雜的人際關係，僅考慮病例間彼此的直線距離很難解釋傳染病的流行，因此利用地理資訊系統的「路網分析」將能模擬人們在路網中移動的情形[7]，例如：圖四為評估以果菜市場鄰近地區界定疫情調查之範圍，傳統上則以果菜市場為中心，取適當半徑來界定其方圓範圍(圖四左)；但若考慮果菜市場不同方向的人們對於市場的可及性均不同，故可利用「路網分析」透過模擬人們在各級道路網絡系統中移動



圖三 環域分析示意圖



圖四 路網分析示意圖

的速度與方向，其疫情調查範圍考慮民眾在路網中移動的距離配合考慮時間的動態變項(圖四右)，發現人口密度在市場的下方較高，因此若將疾病偵測的範圍往右下方調整，以尋找更多病例(additional cases)，如此可更合理的描述人們的接觸型態，能更明確界定該果菜市場的影響範圍區域。例如2002年高雄縣鳳山市登革熱流行的疫情調查中，超過80%的確定病例曾去過市場或公園，所以有效掌握病例共同暴露源的地區，將能提高防疫控制之成效[8]。

結 果

一、疾病偵測(disease surveillance)

「疾病偵測」為最有效的防疫做法。所謂「偵測」是指系統化地蒐集與疾病相關之資料，再經過資料分析，作為規劃、執行與評估公共衛生之依據[4]。以蟲媒傳染病(vector-borne infectious disease)為例，其偵測系統可分成「公共衛生偵測(public health surveillance)」與「病媒偵測(vector surveillance)」兩大部分。在公共衛生偵測

時，特別重視偵測病例出現處及其感染來源處，兩者均往往與地理空間資料密切關聯，若無法有效掌握相關因子之地理空間資料(如狂犬病的狼群在自然界的分布或當地環境的生態變遷等)，將會影響病例資料分析之誤判，因而延緩有效控制疫情之良機，以登革熱防治為例，除了建立病例分布之地理資訊外，尚必須整合廢棄空地、空屋、學校、道路等相關地理資訊，而不僅只考慮病例之地址，如1998年台南市與2001-2002年高雄地區登革出血熱流行之疫情調查資料，均顯示「空地」與「空屋」是病媒滋生來源，尤其過去的傳染病例多以居住地址為基準，繪製疾病的空間分布，但尚未於考慮疫情調查中病例的接觸史與可能之傳染來源等空間資訊[9]。因此，如何透過有效率與準確的方式來擷取空間資訊，將影響疾病的流行的兩大因子：確定感染源以及致病危險因素，進而整合病例臨床等資訊，為疫病是否可以被有效控制的成功關鍵。以往的「公共衛生偵測」是多以「地址」作為紀錄病例之地理空間資訊，但是許多蟲媒傳染病之病例，並非在居住地點感染，若單靠「病例地址」做為空間分析的地理資訊，即易誤解疾病之傳染途徑，因此在空間資訊之應用上，尚須整合病例的工作地點、大眾共同暴露場所(例如：市場、公園或運動場等)，才能瞭解傳染病的傳播途徑與感染來源。

在「病媒偵測」中，許多滋生源地點的監測(如廢棄空地、荒廢的空屋或是廢棄輪胎置放處)或是感染源地理位置(如受污染的水源、鳥類或動物的棲息處)多難以利用地址來描述[10]，因此利用「個人數位助理(personal digital assistant，簡寫為PDA)」與「全球定位系統(global position system，簡寫為GPS)」之整合技術，藉著「行動地理資訊系統(mobile GIS)」的觀念，不再仰賴紀錄地址之方式，即可取得疾病案例發生點之「地理位置」[10]，為以取得與儲存空間資料的方式，如此得以建立更健全的疾病偵測系統，一旦「人、時、地及相關危險因子」系統性的與空間資料整合之後，對通報病例的空間分布、疑似感染源的分析、急性傳染病的更新不同偵測做法、

定期評估各種防治法與預測未來流行分布趨勢，較能有明確的掌握，尤其對於時序、地理位置與相關危險因子三者之間的動態變化，可更快速而有效的進行防疫工作[8]，例如若能即時監測到病例在某處開始出現聚集之趨勢，即可對於該地區及早進行疫情調查與防疫工作，有助於提高尋找與發現「感染來源」的效率。

二、疾病空間聚集(disease spatial clustering)之研討

病例分布可區分成三種空間分布類型(如圖五所示)：聚集式分布、離散式分布與隨機式分布[11]；當發生某種疾病案例時，疾病管制單位必須評估疾病案例之位置是否逐漸呈現空間聚集之趨勢，進而造成疾病之擴散與流行。安卓(Andrew)對疾病空間聚集之定義：「區域內之某個地方具有相對顯著之致病危險」[12]。一般對於疾病空間聚集的統計檢定方法，區分成焦點聚集、全域式聚集以及區域式聚集等三種型態[5]，分述如下：

(一)焦點聚集檢定(focused clustering test)

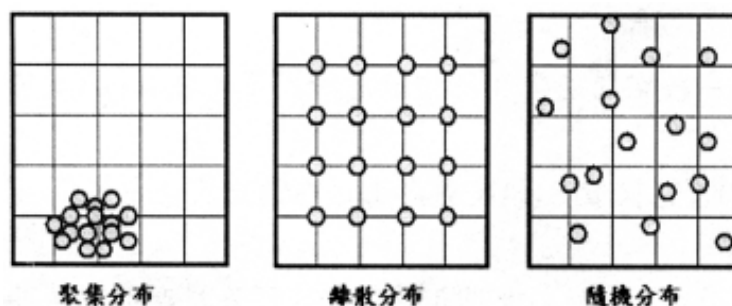
此種檢定方法適用於「已知疑似感染源」之情況下，透過統計檢定可知疾病是否在已知疑似感染源附近造成聚集之狀況；例如，可應用於考慮發電廠或垃圾掩埋場的興建，是否是造成附近居民致病的危險因子[11]。

(二)全域式聚集檢定(global clustering test)

此種檢定方法適用於未知疑似感染源之情況下，利用統計檢定可知「病例是否有空間聚集之情況」，但無法檢定出病例空間聚集在哪些區域[12]。這種方法通常是疾病地理的初步分析，透過全域式檢定，可瞭解空間分布的型態是否存在不尋常的聚集區域。

(三)區域式聚集檢定(local clustering test)

這種檢定方法也是應用於未知疑似感染源之情況下，除了可檢定病例是否有空間聚集之情況，尚可檢定出「病例空間聚集在哪些區域」[13]。由於以往僅限於疾病地圖僅著重於病例的居住地點，而很難評估病例與周圍環境之互動關係；因此，利用這種檢定方法，適用於疫病防制單位於疾病之通報病例



圖五 病例分布的三種主要空間型態

開始發生異常空間聚集時，能夠即時確定聚集區域的地點與範圍大小，並且擴大疫情調查之範圍，有助於尋找致病危險因子、傳染途徑與感染來源等重要防疫資訊。

因此衛生單位面對可能即將爆發流行之傳染病時，透過空間資訊與統計分析之整合技術，能夠評估這些疾病案例是否開始出現空間群聚，當疾病案例開始發生聚集，即必須能夠透過「聚集地區」，評估造成致病的感染來源與傳播途徑(mode of transmission)，進行早期預警與疫病防治工作。

三、環境因子(environmental factors)與疾病傳播之關聯性

在傳染流行病方面，由於許多與生態學(ecology)相關的人畜共通傳染病(zoonosis)，[如在中國大陸由漢他病毒造成的流行性出血熱(epidemic hemorrhagic fever) 或炭疽病(anthrax)]，以及昆蟲媒介傳染病(如台灣曾流行的登革熱[1]與日本腦炎[14])，所牽涉的因素相當廣泛而複雜，在剛開始流行爆發的撲朔迷離之際，釐清與掌握努力方向至為重要。若經過時間與空間的流行病學調查與研討，進而建立傳染病的空間擴散分析模型，可清楚追溯流行病的擴散趨勢，例如在台南市1998年登革熱流行時，由台大生工所與流行病學研究所合作研究中，發現從時間與空間分布狀況，可瞭解登革出血熱病例分布與登革熱之異同處[8-9]。換言之，在東南亞各國登革出血熱的嚴重病例與死亡病例甚高的大流行之際，徹底追蹤同一病毒不同臨床病徵的時序與空間變化及其相關危險因子之關

聯性，更可確切描述與評估：(1)感染源、(2)疫情擴散、(3)嚴重與死亡病例出沒集中處及(4)殺蟲劑噴灑時間對疫情控制之成效等。再經由空間群集分析，可分析空間中某些地區呈現超出期望值，而出現「不尋常聚集」，再研討將這些疾病群集之地區與病媒蚊指數升高是否呈現相關性。即此空間模型分析也解釋為何台灣多年來有遠較於東南亞甚少的登革出血熱病例之原因，換言之，台灣目前的「半主動偵測」是針對每一確定病例的住處、工作地點以及曾經停留地點之鄰近區域之民眾實施抽血，並且進行登革熱病毒近期感染抗體(IgM)的血清學偵測測試，因此這種做法比「醫師報告之被動偵測系統」更能找出「指標病例」。

綜言之，「空間資訊」與疾病之間的相互關係，在疫病控制中扮演相當重要的角色[7]。國際的衛生組織已成功地理資訊分析於疫情的控制[15-23]；而國內也有應用地理空間資訊於疫病的個案分析[24-29]，疾病地理分析多以各縣市或鄉鎮為其「空間單元」，無法擷取病例發生的確切地理座標，所以分析多以描述疾病之空間型態或擴散為主，未來若可考慮感染源或致病危險因子，將可有更多發展空間。

討 論

傳染病大流行是與眾多因素綜合或相互作用的結果，而在嚴重流行時，又必須有正確防疫決策以盡速減少傷亡並避免社會恐慌症候群，因此「病因」相關的危險因子或預防

因子(preventive factor)數據的蒐集越齊全又兼顧配合其地理空間資訊為首要急務，尤其以數據品質的一致性、抽樣代表性(如每個月病媒蚊指數的數據)，對結論的定奪與方向有所重要影響。其次常忽略的是田野調查(field investigation)時追蹤的感染源、暴露接觸網(network of exposure)以及相關的環境因子(如街道寬窄分布)或社會經濟因子(如貧窮相關變數)的確實地理位置，若能「事前」有系統的蒐集與建置，未來可研發流行病學中地區與時間、地區與人、地區與危險因子及地區與多變數因子的統計模式與電腦軟體，如此對於不同控制策略的擬定，可預先從電腦模擬評估其控制成效、侷限性與死角所在，尋找最有效的防疫之道。

空間資訊在傳染病防疫之實務應用上，仍有下列兩方面潛在問題，有待克服。

一、空間資料來源與品質：

空間資料品質是地理資訊分析成功與否之關鍵。由於疫病之管制涉及多種專業領域，因此所需要分析之空間資料必須是跨領域之整合(interdisciplinary integration)，包括流行病之疫調資料、生態資料、農牧資料(養豬場、養雞場等)、社會經濟資料、工程資料(下水道分布、水文分布)以及氣象資料等等。由於這些資料往往分屬於不同來源，因此資料之完整性、比例尺、解析度以及正確性等等各有優劣不同，且有待標準化、統一化後始可進行整合，因而造成空間資訊分析上之困擾[30]。

二、圖層開發與更新的限制：

雖然目前內政部積極推動國土資訊系統，並整合國內相關部會建立九大地理資料庫[30]，但是在疫病控制上，所涉及的相關致病危險因子非常廣泛，因此仍有待建立許多圖層，以登革熱防制為例，全台灣的空屋或廢棄空地的地理分布是造成登革熱流行的危險因子[1]；其他如全國幼稚園、托兒所的地理分布對於腸病毒疫情也是重要的空間資訊[2]。再者，目前取得的地理資訊常大都缺乏更新機制，例如鄉鎮村里邊界常常因為行

政區調整，而面臨重新資料的更新，若疫病管制單位未取得相關單位更新機制，容易錯誤研判疫病管制。

誌 謝

作者群感謝行政院環保署於1992年至1993年「台灣地區登革熱病媒蚊監視系統之建立」的經費補助、國家衛生研究院對登革熱群體研究計劃(計劃編號：NHRI-CN-CL88903P)的支持、疾病管制局涂醒哲局長的重視地理資訊在疫病控制應用，以及中央研究院計算中心地理資訊研究群廖泓銘先生與江正雄先生兩年來的電腦技術支援。

參考文獻

1. King CC, Wu YC, Chao DY, et al. Major Epidemics of Dengue in Taiwan in 1981-2000: Related to The Intensive Virus Activities in Asia and Public Health Surveillance. *Dengue Bulletin* 2000;24:1-10.
2. Chang LY, King CC, Hsu KH, et al. Risk factors of enterovirus 71 infection and associated hand, foot, and mouth disease/herpangina in children during an epidemic in Taiwan. *Pediatrics* 2002;109:e88.
3. Tseng RK, Chen HY, Horng CB. Influenza virus infections in Taiwan from 1979 to 1994. *J Formos Med Assoc* 1995;94(Suppl 2):S126-36.
4. 陳建仁：流行病學—理論與方法。台北：聯經 1999；50-1。
5. Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, Rhind DW. *Geographic Information Systems and Science*. England: John Wiley & Sons, Ltd 2001;66-8.
6. Lawson AB, Williams Fiona LR. *An Introduction to Disease Mapping*. England: John Wiley & Sons, Ltd 2000;32-51.
7. Lang L. *GIS for Health Organizations*. California: ESRI Press 2000:20-35.
8. 溫在弘、金傳春、蘇明道：地理資訊於傳

- 染流行病防治之應用。中華地理資訊學會年會暨研討會論文集，2002。
9. 溫在弘、吳宗樹、廖美英、趙黛瑜、林民惠、金傳春：2001~2002年高雄市登革疫情流行病學分析。台灣公共衛生學會年會暨學術研討會論文集，2002。
 10. Su MD, Chang NT. Framework for Application of Geographic Information System to the Monitoring of Dengue Vectors, Kaohsiung. *J Med Sci* 1994;**10**:S94-101。
 11. Martin K. Statistical Methods for Spatial Epidemiology: Tests for Randomness, GIS and Health, European Science Foundation, 1998.
 12. Lawson AB. Statistical Methods in Spatial Epidemiology. England John Wiley & Sons, Ltd 2001;103-6.
 13. Martin K. Evaluating Cluster Alarms: A Space-Time Scan Statistic and Brain Cancer in Los Alamos, New Mexico. *Am J Public Health* 1998;**88**:1377-80.
 14. Hsu LC, Wu Y C, Lin SR, et al. Seroepidemiology of Japanese Encephalitis viral infection among 3-6 years old children from mountainous and plains townships located in the northern, central, southern, and eastern Taiwan. *J Microbiol Immunol Infect* 1997;**30**:194-206.
 15. Brooker S, Michael E. The potential of geographical information systems and remote sensing in the epidemiology and control of human helminth infections. *Adv Parasitol* 2000;**47**:245-88.
 16. Kistemann T, Dangendorf F, Krizek L, Sahl HG, Engelhart S, Exner M. GIS-supported investigation of a nosocomial Salmonella outbreak. *Int J Hyg Environ Health* 2000;**203**:117-26.
 17. Omumbo J, Ouma J, Rapuoda B, Craig MH, le Sueur D, Snow RW. Mapping malaria transmission intensity using geographical information systems (GIS): an example from Kenya. *Ann Trop Med Parasitol* 1998;**92**:7-21.
 18. Brooker S, Rowlands M, Haller L, Savioli L, Bundy DA. Towards an atlas of human helminth infection in sub-Saharan Africa: the use of geographical information systems (GIS). *Parasitol Today* 2000;**16**:303-7.
 19. Centre for Health Applications of Aerospace Related Technologies. Available from: URL: <http://geo.arc.nasa.gov/esdstaff/health/chaart.html>
 20. The Public Health Early Warning System of New Zealand's Ministry of Health. Available from: URL: <http://www.phew.govt.nz/>
 21. MALSAT Environmental Information Systems for Malaria. Available from: URL: <http://www.liv.ac.uk/istm/malsat.html>
 22. WHO, Geographic Information Systems (GIS): Mapping for Epidemiological Surveillance. *WHO Weekly Epidemiol Rec* 1999;**74**:281-5。
 23. WHO HealthMap。Available from: URL: <http://www.who.int/emc/healthmap/healthmap.html>
 24. 張春蘭：七十一年台灣小兒麻痺症流行的空間差異。台北：台灣大學地理系碩士論文，1984。
 25. 歐陽鍾玲：疾病地理研究—以臺灣登革熱為例。台北：師範大學地理系博士論文，1994。
 26. 蘇明道、張念台：利用地理資訊系統監視登革熱病媒蚊之架構探討。國立屏東技術學院學報 1995；**4**：45-54。
 27. 蔡清讚：地理資訊系統對登革病媒蚊密度及登革熱流行因子之相關性研究。台北：行政院衛生署研究報告，1997。
 28. 張念台：利用地理資訊系統估測琉球鄉埃及斑蚊之發生。第九屆病媒防治技術研討會論文集，1997。
 29. 蔣隆運：疫情地理管理資訊系統，國土資訊系統通訊。內政部 2002；**41**：16-21。
 30. 周天穎、葉美伶、袁嵐焜：地理資訊系統理論與實務。台中：逢甲大學地理資訊系統研究中心，2000。