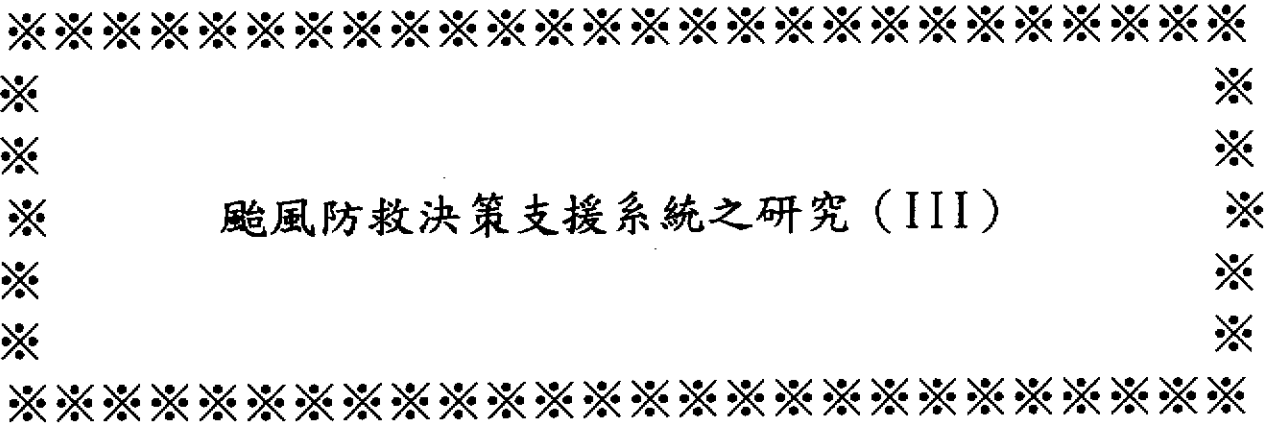


行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告



颱風防救決策支援系統之研究 (III)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號： 89 - 2625 - Z - 002 - 051
執行期間： 89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人： 蔡博文

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位： 國立台灣大學地理環境資源學系

中 華 民 國 90 年 7 月 31 日

颱風防救決策支援系統之研究 (III)

計畫主持人：蔡博文

國立台灣大學地理環境資源學系

研究助理：楊家佩、許家成

目錄

中文摘要-----	I
英文摘要-----	II
第一章 緒論-----	1
第一節 研究背景-----	1
第二節 研究目的-----	4
第三節 研究方法與程序-----	7
第二章 需求分析-----	12
第一節 資料需求分析-----	12
第二節 資料分析-----	14
第三節 功能需求分析-----	16
第三章 颱風防救決策支援系統-----	18
第一節 空間決策支援系統-----	18
第二節 系統功能架構-----	19
第三節 資料庫內容-----	31
第四章 運用案例式推理於颱風路徑預測-----	34
第一節 案例式推理-----	34
第二節 線型地物的空間相似度關係-----	37
第三節 颱風路徑案例分析-----	40
第五章 結論與後續研究-----	48
第一節 結論-----	48
第二節 後續研究-----	50
參考文獻-----	53

中文摘要

本計畫之主要目的係配合防災國家型科技計畫，建置颱風防救決策支援系統，提供颱風災害防救單位於平時及災害來臨時進行減災、災害準備、緊急應變、及災後復原等決策支援作業。

颱風災害及防治與空間位置關係密切，因此本研究導入地理空間概念，以地理資訊系統（geographic Information system, GIS）工具來收集整合相關資料，建立地理資料庫，並且結合地理資訊系統空間分析功能，整合颱風預測及分析模式，建立模式庫，建置空間決策支援系統（spatial decision support system, SDSS），提供災害防救單位於平時及災害來臨時進行減災、災害準備、緊急應變、及災後復原等決策支援作業。

第一年度研究經由需求分析，完成颱風防救決策支援系統資料需求及功能需求，並且依此需求為基礎，規劃系統架構及資料庫架構。第二年度接續第一年度的規劃結果，進行系統及資料庫建置的，並且配合整合型計畫的其他子計畫，做架構上的修正，以配合整體防災國家行計畫的執行。本年度則針對颱風路徑預測課題，運用案例式推理（case-based reasoning）機制，從颱風歷史資料庫中擷取相似案例，做為颱風潛勢、危險度分析及境況模擬模組的基礎。初步結果顯示，以本研究所測試的 17 個颱風為例，運用案例式推理方式進行的路徑預測，其前 24 小時平均誤差為 36.64 公里（中央氣象局統計預報及數值模式預報平均誤差分別為 178.56 及 208.24 公里），而登陸地點誤差平均為 56.67 公里，因此，運用案例式推理於颱風路徑的預測，值得進行深入的研究。

關鍵字：地理資訊系統，颱風，空間決策支援系統，案例式推理

英文摘要

This project is under the scheme of "National R&D Project for Natural Hazard Mitigation" and for the academic and governmental research groups of typhoon hazard mitigation.

The geographic information system (GIS) technology is employed in this project. With the help of this advanced technology, mass data can be integrated, processed, analyzed, simulated, displayed, and becomes useful information that can assist us in making decision on hazard mitigation and salvage.

Case-based reasoning (CBR) has been employed in typhoon forecasting which is the basis for hazards potential analysis, hazards risk analysis and simulation of hazards scenario. The implementation of the system has been done by using Visual Basic programming language and MapObject GIS programming tool.

Key Words: geographic information system (GIS), typhoon, spatial decision support system, case-based reasoning (CBR)

第一章 緒論

第一節 研究背景

台灣地區天然災害發生頻仍，經常導致嚴重的人民生命財產的傷害與損失，近年的賀伯風災、林肯大郡崩塌事件、集集大地震、桃芝、納莉颱風等，更造成令人聞之色變的重大傷亡慘劇。政府相關部門向來重視災害防救工作，為有效保障人民生命財產，行政院乃於民國八十三年八月頒佈「災害防救方案」，繼而成立「中央防災會報」，建立中央至地方的災害防救體系。民國八十五年九月的全國科技會議及同年十二月的行政院科技會議中，皆提出以跨領域整合之國家型防災計畫建議，為落實上述會議結論與建議，國科會於八十六年三月通過「國家型科技計畫推動要點」與「防災國家型科技計畫構想」，同年四月在行政院「中央防災會報」之下成立「專家諮詢委員會」為防災技術幕僚單位，以促進防災科技與防災業務的密切結合。民國八十六年九月完成「防災國家型科技計畫」規劃報告，其基本理念在藉由跨部門領域的整合研究來結合防災科技與防災業務，使研究成果充分落實。民國八十九年八月正式頒佈「災害防救法」，使得各項防救災工作的進行具備法源的依據。

國內歷年已累積不少災害調查、分析、防治等相關性研究，主要

是由內政部、經濟部、交通部、農委會、國科會等部會分別推動，然而，大部分的研究偏重於個別性與局部性的研究，較少進行跨領域及跨部會的整合性研究，以致不容易將前人的各種研究成果加以結合與應用。以颱風災害的相關研究而言，主要負責推動的政府機關包括：中央氣象局、交通部民航局、空軍氣象聯隊、國科會等，學術/研究單位則有：大學相關科系、港灣技術研究所、農業工程研究中心等，多年來已有相當份量的研究成果，但是，因為各項計畫基本上是獨立進行，且大多為滿足委辦單位之特定業務需求，欠缺相互配合、分工合作之整體性規劃，因此，不免有相互重複與各種研究面向分布不均的現象，亟待加以整合與整體規劃。

防災國家型科技計畫強調以整合的角度進行各項研發工作，主要是結合防救災研究機構及相關政府部門，有系統的整合研發成果轉化成可以落實應用於防災業務的技術。依據該計畫的規劃架構，防災國家型科技計畫是要建立一套由災害潛勢分析、災害危險度分析、災害境況模擬等要項組成的防救災科技作業流程，提供主管機關擬定合理有效的防救災計畫，並就現行防救災體系與防救災計畫之檢討來健全國內災害防救組織結構，防災國家型科技計畫並以觀察者的身分參與防救災工作的執行，藉由共同的成效評鑑與檢討，來進行運作系統的修正與補強。防災國家型科技計畫區分為防颱組(含防洪及土石流)、

防震組、體系組、資訊組，以分工合作之方式推動優先選定的颱風、洪水、土石流、地震等災類別的研究工作，並由體系組負責組織之整合任務，資訊組負責資訊與系統之整合。

本計畫之主要目的係配合防災國家型科技計畫建置颱風防救決策支援系統，由空間決策支援系統的基本組成來看，其主要構成的要素包括：颱風歷史資料庫、颱風即時資料庫、預測模式庫、颱風歷史知識庫、及地理資訊相關技術（如：地理資訊系統、遙測、全球衛星定位系統），資料庫提供颱風災害防救決策所需的各項相關資料，藉由預測模式庫及颱風歷史知識庫內適當的模式模擬推演，來進行災害潛勢與危險度的分析，地理資訊系統則扮演資料庫與模式庫整合、空間分析輔助、及分析結果展示的角色，藉由地理資訊系統及網路通訊技術的輔助，可以建立一個整合分散式的資料群與模式群的作業環境，提供災害防救單位於平時及災害來臨時進行減災、災害準備、緊急應變、及災後復原等決策支援作業。

第二節 研究目的

國內歷年已累積不少災害調查、分析、防治等相關性研究，主要是由內政部、經濟部、交通部、農委會、國科會等部會分別推動，然而，大部分的研究偏重於個別性與局部性的研究，較少進行跨領域及跨部會的整合性研究，以致不容易將前人的各種研究成果加以結合與應用。以颱風相關研究而言，主要負責的政府機關包括：中央氣象局、農政部門、軍方氣象單位、國科會；學術/研究單位則有：大學相關科系、農業、林業及植物相關研究中心等，多年來已有相當份量的研究成果，但是，因為各項計畫基本上是獨立進行，且大多為滿足執行單位之特定業務需求，欠缺相互配合、分工合作之整體性規劃，因此，不免有相互重複與各種研究面向分布不均的現象，亟待加以整合與整體規劃。多年來，政府相關單位雖有設立統籌推動單位之構想，惟因種種因素未能立即實現。防災國家型科技計畫則強調以整合的角度進行各項研發工作，主要是結合防救災研究機構及相關政府部門，有系統的整合研發成果轉化成可以落實應用於防災業務的技術。在防災國家型科技計畫的颱風防救體系運作規劃構想中，首先必須建立迅速且有效的氣象資訊，並提供歷史颱風資料，以便分析颱風災害發生的潛勢；其次，必須分析颱風對人類居住地（特別是河川下游，人口稠密的都市地區）可能造成災害的危險程度，此時必須整合使用人文環境

的各項基本資料來進行研究；然後，藉由上述的分析成果，建立起一系列可以進行災害境況模擬的模式群，其中，包括預報模式、預警系統等，以及評估對人文環境衝擊的境況模擬功能；最後，據以擬定颱風災害的防救計畫，作為災害預警、救援的憑藉，以及減災、抑災計畫的參考。為實現上述整體規劃之構想，資訊體系的研究發展殊為重要，無論是災害潛勢分析評估或境況模擬作業，皆須仰賴大量的環境資料蒐集、彙整、分析工作，且須將模擬結果有效地加以展示，以提供決策者據以擬定可行的災害防救計畫與措施。再者，災害現象的本質及其相關的資料大多具有空間分布的特性，在資料蒐集、彙整、管理，以及空間分析、模式模擬、成果展現等方面，如無地理資訊系統、遙測、全球定位系統的整合輔助實難以達成目標。另一方面，在現實的防救災組織體系狀況下，如何將分散全國各地的防救災政府單位、資料庫、模式庫、電腦系統加以整合，共同運作，唯有依靠現代化的電腦網路系統來加以串連。

因此，本計畫的主要目的是結合地理資訊系統技術、空間決策支援系統架構與日益成熟的網路技術，在防災國家型科技計畫整體架構下，與體系組及防颱組氣象災害研究群的研究相互配合，整合其颱風觀測及預報成果與境況模擬模式，共同規劃建置相關防災資料庫，以建立一套整合型的颱風防救決策支援系統，有效輔助防災國家型科技

計畫辦公室及相關政府部門之颱風災害防救業務，並提供土石流防救及洪水防救決策支援系統所需資訊。

第三節 研究方法與程序

颱風防救決策支援系統主要包括兩大部分，第一部分為決策支援應用系統，第二部分為資料庫，前者包括進行決策支援作業時所需的分析功能，主要目的在於提供決策者可能的颱風或氣象災害潛勢，以及可能發生的人員、財產損失；後者包括執行前述分析功能所必須具備的資料，包括颱風即時資料、颱風歷史資料、及其他基本資料。因此颱風防救決策支援系統建置的研究方法以此二部分為主，研究流程如圖

1-1 所示，分述如下：

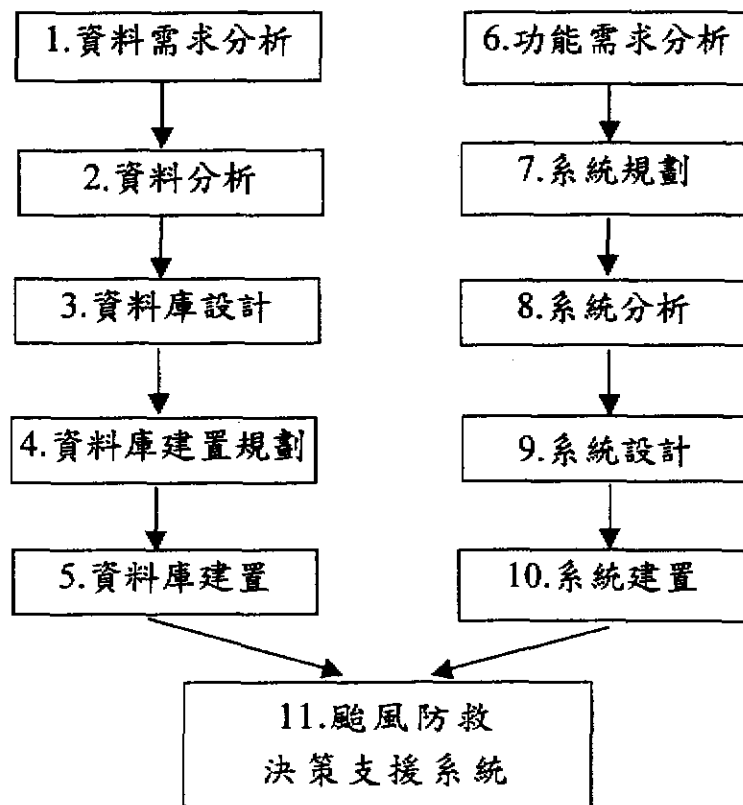


圖 1-1 研究流程

1. 資料需求分析

根據颱風防救決策過程所需要的資訊範圍，分析所需要使用的地理資料項目及內容，包括即時颱風資料、歷史颱風資料、以及其他相關地理基本資料。

資料需求分析採用 GIS 使用者需求分析方法，分二階段進行，第一階段進行現有文件報告收集整理，從國內、外文獻中了解颱風防救決策資料庫設計的實際經驗；第二階段進行訪視，從防災國家型科技計畫中與颱風研究相關的主持人或研究人員中來探索其資料需求，以及從氣象相關單位的業務承辦人中瞭解其業務的資料需求。

2. 資料分析

瞭解資料需求後，必須對資料現況進行分析，瞭解其來源、可得性 (availability)、資料型態、內容等，以做為資料庫建置的依據。颱風防救決策支援資料庫包括颱風即時資料庫、颱風歷史資料庫、及基本資料庫，颱風即時資料庫的資料來源為即時觀測資料，因此必須即時收集建置，而颱風歷史資料庫為過去之歷史資料，資料量龐大，且必須經過適當轉化，因此此二項資料庫的建置方式有別

於一般地理資訊系統之資料庫建置，必須進行縝密的資料分析程序。

3. 資料庫設計

颱風即時資料庫與歷史資料庫的特性有別於一般地理資訊系統之資料庫，因此對於資料庫的實體 (physical) 配置、資料的存取方式等必須妥善加以設計。

4. 資料庫建置規劃

根據資料來源分析，擬定資料庫建置計畫，包括數化方法、時程、程序、人力、經費及優先序等。

5. 資料庫建置

根據資料庫建置規劃，分期實施資料收集、資料數化、取得管道、取得方式等工作，建立資料典，完成資料庫建置。

6. 功能需求分析

環境品質監測地理資訊系統功能需求分析以使用者需求為最高指導原則，但是為了發揮本案引用地理資訊系統技術的特殊意義，期望激發原來在沒有地理資訊系統技

術時所無法進行的業務需求，所以在進行功能需求分析時，同時參酌國內外相似系統功能，以及本案研究人員的專業建議，進行系統功能需求的界定。進行的方法以業務承辦人員的例行業務為主要功能對象，包括訪談單位主管及業務承辦人員，以及從業務執掌與報告文獻中的了解，彙整其他相似系統功能以及本案研究人員的建議，再與承辦人員做反覆討論與確認後完成功能需求分析工作。

7. 系統規劃

根據系統功能分析結果以及配合資料庫設計的內容，進行系統架構的研擬，同時考慮軟硬體設備的需求，以及現有設備及人員技術的配合。系統規劃從大處著眼，小處著手，意即系統架構以理想且必需的系統為規劃目標，不局限於本案的系統建置範圍，期望這種整體性的考量策略可以提供委辦單位分年分期，逐步完成完整的系統建置依據。

8. 系統分析

系統分析採結構化分析理念，根據系統規劃架構，對系統範圍內的功能作業(process)及資料間的關係進行分

析，界定資料的傳遞以及各功能作業的資料引進及產出，以做為系統建置的依據。

9. 系統設計

系統設計主要進行使用者界面(interface)的設計，一套良好的系統除了功能完整外，還必須考慮使用者使用的方便性與效率性，以提昇使用者的使用意願。

10. 系統建置

系統建置從系統效率性，功能需求性，使用親和性，現有設備相容性，未來發展性，經費限制等面向，研擬使用的系統工具，開發語言，作業系統，設備等，根據系統分析及系統設計結果進程式撰寫，完成系統的開發。

第二章 需求分析

第一節 資料需求分析

資料需求分析以使用者需求為導向，分析方法首先回顧防災國家型科技計畫與颱風相關之研究，整理初步之資料需求，其次召開座談會，瞭解各單位之資料需求與資料現況，然後設計問卷，函請計畫主持人或研究人員填寫，問卷內容包括使用的資料項目，計畫完成後產生的資料項目，以及使用的資料庫系統等（八十八年度已完成）。

颱風相關研究之資料主要以氣象資料為主，根據資料發生的時間，分為即時資料及歷史資料，即時資料包括各項即時觀測之氣象資料，以及颱風來襲時之颱風預報資料。

即時氣象資料包括氣象局之地面站、自動雨量站、高空站，民航局之氣象站等所即時觀測之各項氣象資料，包括雨量、氣溫、濕度、氣壓、風向、蒸發量等，這些資料除了直接使用外，通常可以再處理成為颱風防救決策支援使用，例如累積雨量、流域雨量等。

颱風預報資料為颱風來襲時氣象局所發佈之颱風即時資料，此資料是颱風防救決策支援作業最重要的資料，包括中心氣壓、中心位

置、暴風半徑、預測進行之速度及方向、近中心最大風速、預測位置、警戒區域及警戒事項等。

歷史資料以颱風歷史資料為主，包括路徑、強度、雨量、衛星雲圖、雷達資料、天氣圖等。

除了颱風相關氣象資料外，颱風防救決策支援系統還需要其他基本資料，才能完成防救災決策支援任務，這些基本資料包括基本環境資料、基本人文社經資料、公共設施資料、潛在災害資料、救災資源資料、救災設施資料、災害現況資料、以及救援現況資料等。

第二節 資料分析

即時氣象資料的資料來源來自各觀測站，以氣象局為主，目前氣象局主要的觀測資料已經由「點對點氣象防災服務資訊系統」提供相關單位使用，此系統已經建立完整之資料下載機制，颱風防救決策支援系統只要將其整合即可。其他即時氣象資料之取得，例如民航局或軍方之氣象站資料，必須在系統中加以規劃，惟即時氣象資料與一般資料之特性大不相同，它必須在及短時間內取得，並完成處理與分析，因此氣象局以外之其他即時氣象資料之獲取，必須於系統中審慎規劃。

颱風預報資料來自氣象局，目前是以預報單之型式經由「點對點氣象防災服務資訊系統」提供資訊，內容項目已可以滿足颱風防救決策支援任務，然其主要以文字敘述為主，對於具備空間特性之資訊，例如預測位置、警戒區域等，必須進行空間轉化，才能與其他資料整合，發揮防救災決支援之功能。

颱風歷史資料為過去之記錄資料，目前由氣象局以計畫方式進行資料之整理與資料庫的建置，此計畫自民國八十八年開始，預計以三年的時間完成，包括 1949 至 2000 年曾經

發生於台灣附近的 200 餘個颱風，目前完成的部分包括天氣圖（1986 年以後），衛星雲圖（1996-1998），颱風路徑（1949-2000），雷達回波圖（不同地點資料不同，最早資料時間為 1982），累積雨量（2000），颱風警報單（1984-2000），斜溫圖（1999-2000），測站資料（建站至 2000），災情（1980-1998，包括農業、漁業、水利、交通、電信、房屋、人員）等。

基本資料中的基本環境資料、基本人文社經資料、公共設施資料為國土資訊系統基本建置資料，目前大部分已完成資料庫的建置；潛在災害資料、救災資源資料、救災設施資料在防災國家型科技計畫中已有整體規劃，並由不同單位進行資料收集與資料庫建置中；災害現況資料及救援現況資料為災害發生時之即時資料，必須由各層級災害防救中心即時取得。

第三節 功能需求分析

功能需求分析進行的程序與資料需求分析相似，先由文獻中整理出初步的功能需求，然後設計問卷進行深入的瞭解（八十八年度已完成）；颱風防救決策支援系統功能具備下列特點：

1. 即時性

颱風災害與其他災害不同，它具備即時特性，因此許多資訊無法事先準備，例如災害潛勢、災害危險度等，因此颱風防救決策支援系統功能必須具備高度效率性，包括計算（computation）、展現（display）、資料傳遞（communication）等功能。

2. 氣象資料的連續性（continuous data）

地理資料從其分佈上可區分為連續性資料（continuous data）與不連續性資料（discrete data），二者在地理資訊系統的處理與分析方式不進相同，氣象資料屬連續性資料，因此颱風防救決策支援系統功能必須具備完整的連續性資料處理功能，例如空間推估（interpolation）、等值線（isoline）等功能。

3. 即時資料輸入

颱風資料具備高度即時性，因此系統必須具備即時資料輸入能力，而颱風資料由氣象單位所收集產生，其中主要來源為氣象

局，因此系統必須具備即時自氣象局輸入資料能力，包括數位傳輸、資料轉換、介面等功能。

4. 模式導向 (model based)

颱風防救決策支援系統功能大部分與颱風資料相關，這些颱風資料的處理與分析通常必須透過複雜的氣象模式，而這些氣象模式必須以專業的軟體系統來進行，而這些系統大部分已存在於氣象單位，透過氣象局之專業人員運用於日常業務所使用，因此颱風防救決策支援系統不宜重複建置此部分功能，宜以整合方式匯入氣象局之分析結果。

根據以上的特性分析，颱風防救決策支援系統功能需求主要以資訊的整合為主，繁複的計算或空間分析反而需求較低，這是因為許多資訊是藉由其它氣象專業系統來處理分析，然後匯入決策支援系統；由於整合性需求高，所以必須具備整合性環境界面，包括不同資料來源的載入、不同來源資訊的展現、以及不同來源資訊的交互萃取；除此之外，處理連續性氣象資料的功能，以及萃取颱風歷史性資料的智慧型機制都是颱風防救決策支援系統必須具備的功能。

第三章 颱風防救決策支援系統

第一節 空間決策支援系統

空間決策支援系統 (Spatial Decision Support System, SDSS) 是近年來快速發展的一項新技術，其主要目的是提供決策者一個親切易用的決策輔助工具，它是承襲企業界決策支援系統的理論，在加上地理資訊系統的相關技術而成。決策支援系統主要是透過良好的溝通介面，協助決策者解決非結構化的問題，所以它是提供決策支援，而非決策自動化。地理資訊系統是以空間資料為處理分析對象的資訊系統，其特性在於處理大量空間資料，以及進行繁複的空間分析能力。由於颱風災害防救相關的資料具備高度空間性，且數量龐大，而颱風災害的發生也是瞬息萬變，屬於非結構化問題，所以透過決策支援系統與地理資訊系統技術的整合，可以有效的運用於颱風災害防救任務。

空間決策支援系統的主要組成為資料庫、模式庫、及使用者介面，其中資料庫為地理資訊系統的核心，因此颱風防救相關資料庫必須以地理資訊系統為架構為基礎來建置；模式庫則包括颱風路徑預測模式以及空間分析模式；使用者介面透過地理資訊系統優良的資訊展現功能，可以將結果有效的傳達給決策者，輔助決策。

第二節 系統功能與架構

根據防救災決策支援系統架構，系統分為減災、防災準備、災害應變、及災後復原四個決策支援系統，減災決策支援系統主要目標是根據災害特性，事先辨別災害可能發生的地點、規模及發生的條件，完成潛勢分析，進而進行危險度分析，瞭解這些災害地點可能產生的生命財產損失；瞭解了潛勢與危險度後，進行模擬各種可能減災策略的效果，做為研擬減災策略的依據。以颱風災害而言，颱風自發生後可能的進行路徑，以及其規模、強度等即為其潛勢，此潛勢主要經由颱風預報來達成，颱風預報方法包括統計、類比或數值等方法。由於颱風災害潛勢與其他災害如洪水、土石流災害等不同，無法事先研析發生的地區，因此颱風災害潛勢分析必須以即時性的系統來操作，並且必須具備高效率的分析，才能滿足颱風快速移動的特性。

危險度分析是透過災害潛勢與人口社會經濟基本資料，分析可能的生命財產損失，由於颱風災害潛勢無法事先研擬，必須即時推演，因此颱風危險度也無法事先計算，僅可以在颱風發生到侵襲之間的短暫時間內，根據颱風預報資料加以計算。因此颱風危險度分析也必須是即時處理系統，必須具備高效率的執行效能與程序。

颱風境況模擬是模擬各種可能減災策略的效果，做為研擬減災策略的依據。境況模擬可以根據颱風歷史資料與人口社會經濟基本資料來進行各種減災策略的模擬。

防災預備決策支援系統包括災害緊急應變計畫研擬系統、災害緊急應變演習及訓練系統、及救災資源儲備系統，由於災害準備主要以災害之型態來進行，而台灣地區颱風災害的主要型態為洪水與土石流，因此颱風防災預備決策支援系統可以整合於洪水及土石流災害預備決策支援系統中。

災害應變決策支援系統為災害來臨時即時操作之系統，他必須具備高效率化與高程序化的設計，才能達到快速反應的功能，因此災害應變與減災或災害預備不同，它必須將可能於同時發生的災害型態整合於同一系統中，以統一事權，整合資訊。如前所述，颱風所產生的災害在台灣地區主要為洪水與土石流，因此應該整合於同一個緊急應變系統中，包括災害預警系統、颱風動態顯示系統、人員疏散通報系統、災情通報系統、救災派遣系統、及救災資源管理系統等。

災後復原決策支援系統與災害類別無直接關係，主要以復原工作之執行單位相關，因此颱風災害之災後復原決策支援系統不需要單獨建置，而是將颱風、洪水、土石流與地震整合於同一套災後復原決策

支援系統中。

經由本節的討論，配合整體防救災決策支援系統架構，本計畫所研擬的颱風防救決策支援系統架構如圖 3-1 所示。

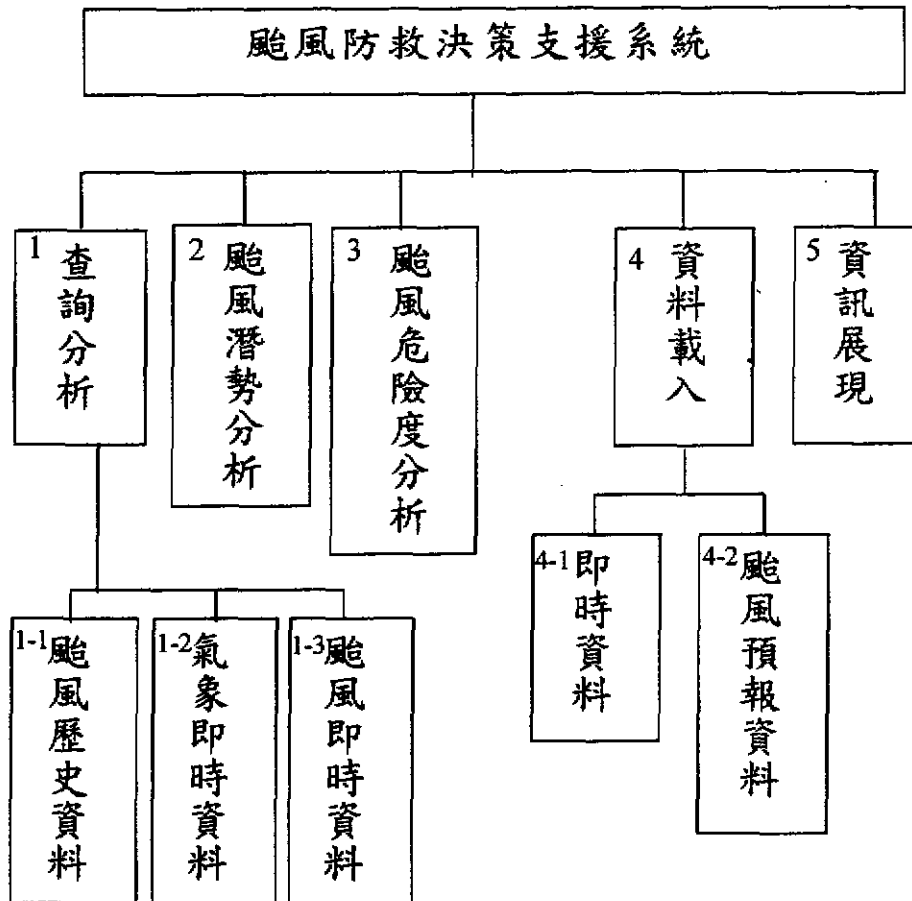


圖 3-1 系統功能架構

1. 查詢分析

查詢分析是地理資訊系統的基本功能，也是決策支援系統必備的基本功能，地理資訊系統的查詢分析包括空間查詢

(spatial query) 及屬性查詢 (attribute query)，我們可以透過空間位置得到該位置上所發生的現象或地物特性，也可以經由地物現象的特性得知該地物或現象發生的地點。颱風防救決策支援系統包括的查詢功能包括氣象即時資料查詢、颱風即時資料查詢、以及颱風歷史資料查詢。分述如下：

氣象即時資料查詢

氣象即時資料包括雨量、氣溫、濕度、氣壓、風向、蒸發量等，資料可由氣象局提供之「點對點氣象防災服務資訊系統」即時獲得，該系統採即時網路檔案下載方式，提供近乎即時的氣象資料查詢。首先必須提供原始測站資料基本查詢，包括指定測站查詢其相關氣象資料，以及經由氣象資料查詢測站，例如降雨量大於 100 公釐之測站等；由於氣象資料所表達的是連續性之現象分佈，因此除了基本查詢功能外，還必須提供面量推估功能，透過空間推估 (spatial interpolation) 功能，將點資料延展至面資訊，以表達現象之分佈。所有展現的資料還必須能夠與基本資料疊合展現。本查詢功能包括降雨分佈圖、雨量線圖、各站雨量值表、及累積雨量分佈(圖 3-2 至圖 3-5)

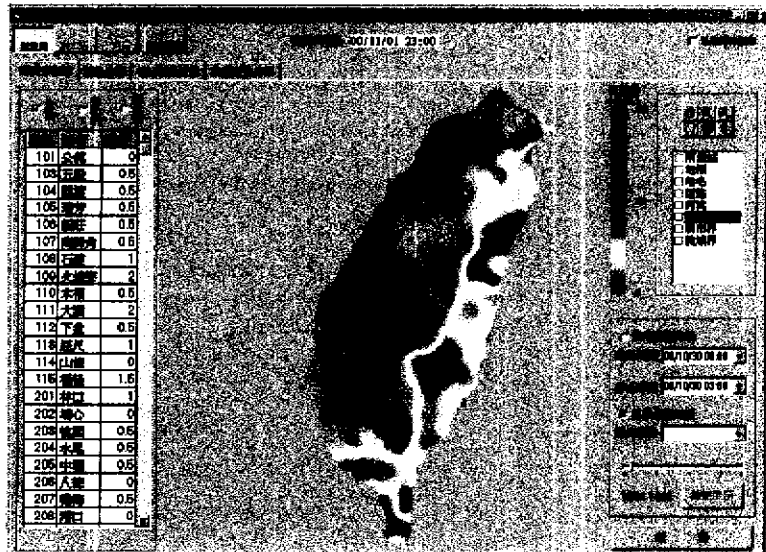


圖 3-2 累積雨量分佈

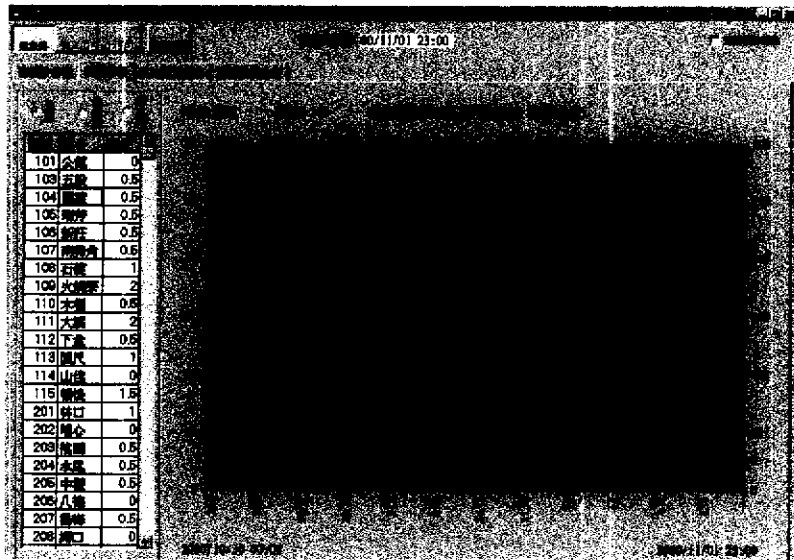


圖 3-3 雨量站雨量及累積雨量

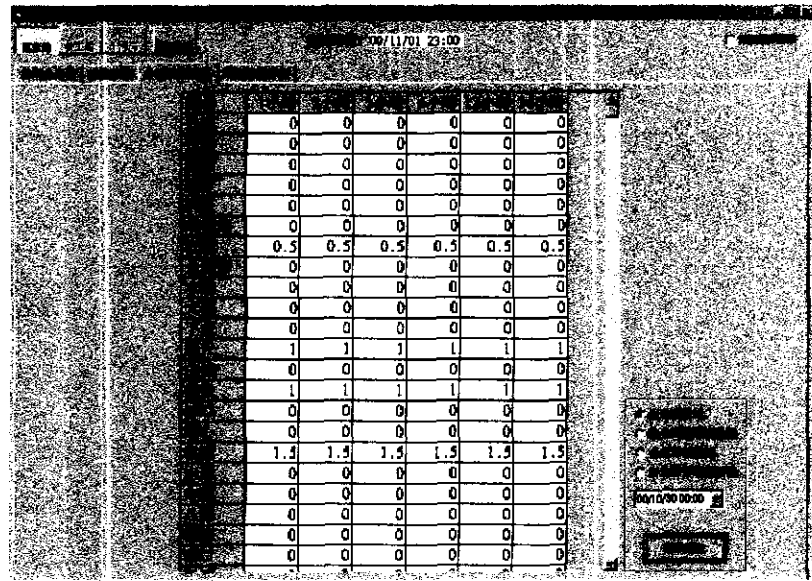


圖 3-4 雨量站雨量統計

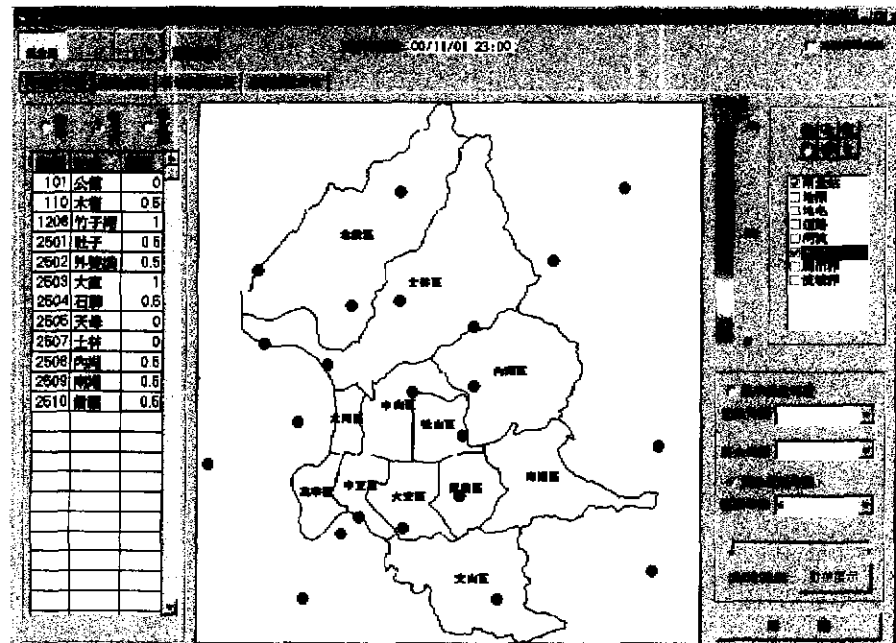


圖 3-5 雨量站分佈及雨量統計

颱風即時資料查詢

颱風即時資料查詢於氣象局網站中已提供完整功能，包括衛星影像、颱風警報單等，可以提供相當即時的資訊，因此此項功能直接連結氣象局網站，提供颱風警報單、颱風衛星雲圖、雷達回波圖、累積雨量圖等。

颱風歷史資料查詢

颱風歷史資料查詢提供從系統資料庫搜尋歷年颱風相關的文字資料及測站降水資料等相關資訊，包含颱風名稱、登台時間、侵台時間、登台地點、生成地點、生成時間、颱風等級、災情描述、累積雨量及總雨量值等（圖 3-6），另將颱風路徑資料轉換為圖形資料，展現於地圖上（圖 3-7）

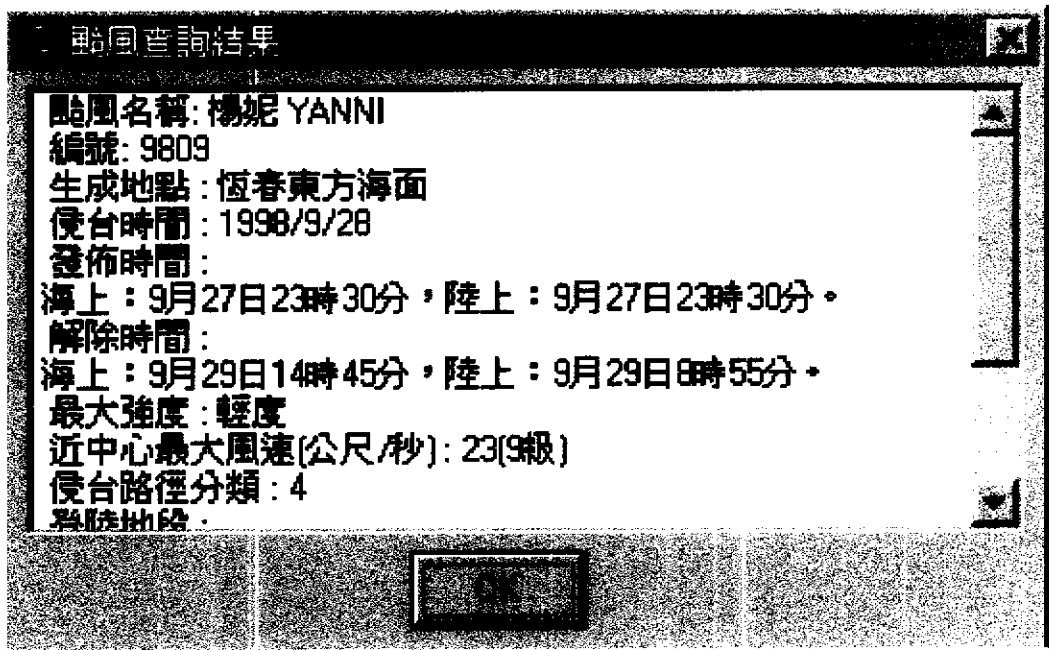


圖 3-6 歷史颱風資料查詢

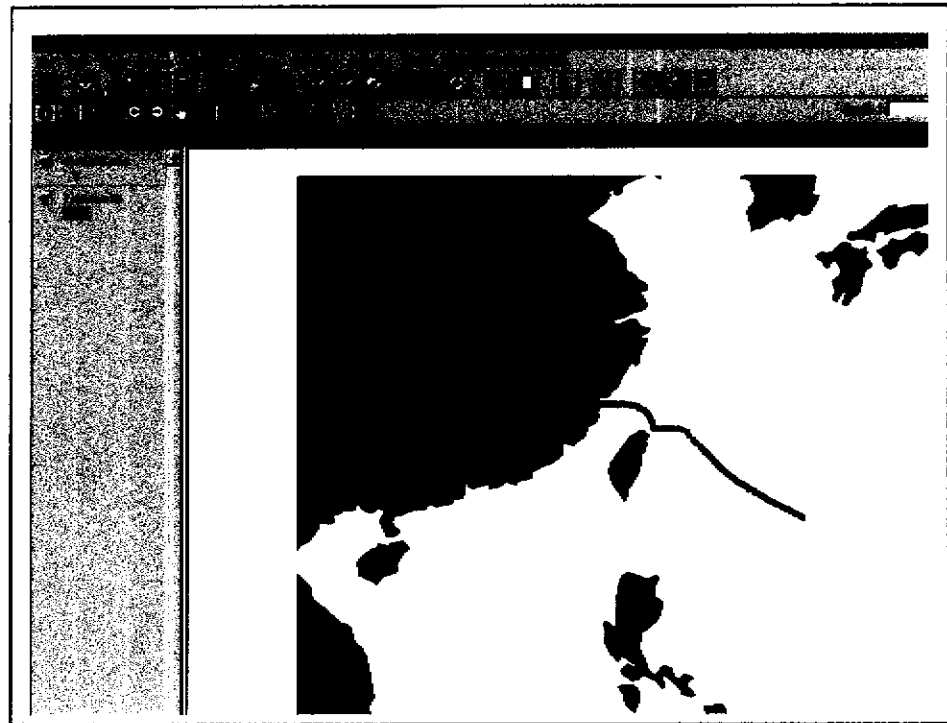


圖 3-7 歷史颱風路徑

2. 颱風潛勢分析

颱風潛勢分析主要進行颱風路徑的分析，運用氣象局的逐時颱風位置資料，即時預測未來的行徑，以做為危險度分析的依據。路徑分析採用案例式推理方式來進行，詳細的分析方法請見第四章。

3. 颱風危險度分析

危險度分析是依據颱風潛勢，評估可能受災範圍內的生命財產損失（圖 3-8），此功能可以經由地理資訊系統疊合功能（overlay analysis）來達成，將潛勢分析結果的可能受災區域疊合人文社經資料、公共設施資料、道路資料、潛在災害資料等，估算可能的生命財產損失（圖 3-9、圖 3-10）。



圖 3-8 可能受災範圍

縣市鄉鎮名稱	人口密度 (人/平方公里)
宜蘭縣壯圍鄉	669
宜蘭縣員山鄉	293
宜蘭縣宜蘭市	3099
新竹縣尖石鄉	16
宜蘭縣大同鄉	9
宜蘭縣五結鄉	978
宜蘭縣三星鄉	162
宜蘭縣羅東鎮	5858
宜蘭縣冬山鄉	644
新竹縣五峰鄉	22
宜蘭縣蘇澳鎮	566

圖 3-9 受災範圍鄉鎮人口密度

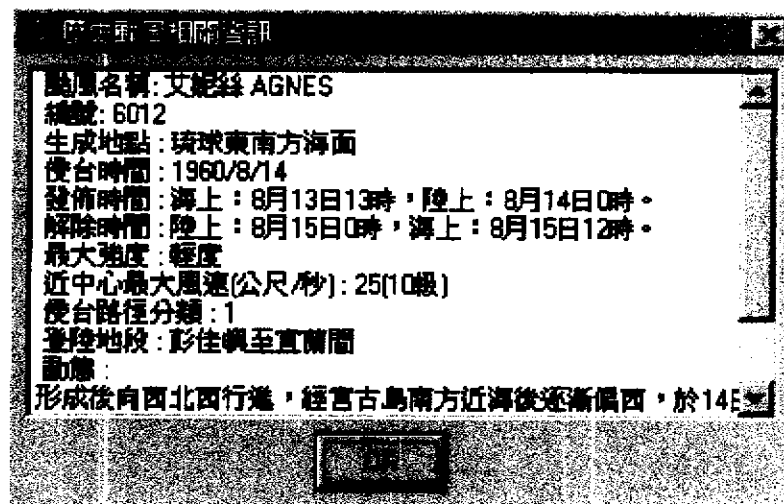


圖 3-10 過去相似路徑颱風資料

4. 資料載入

颱風防救決策支援系統所使用的資料大抵包括氣象即時資料、颱風預報資料、颱風歷史資料、及基本資料，其中颱風歷史資料及基本資料可以於平時進行資料庫的建置，而氣象即時資料與颱風預報資料為即時性資料，必須即時輸入系統使用，因此系統必須具備即時資料載入功能，以符合資料之「即時」特性。

資料載入功能包括即時資訊載入及即時資料載入，前者主要是載入以處理好的資訊，方式是透過網站的直接連結，提供查詢分析所需的資訊；後者是提供系統進行分析決策時使用的數值資料，此項資料載入主要整合氣象局之「點對點氣象防災服務資訊系統」來載入資料。資料載入後必須經過適當的資料

處理程序，以符合各項分析功能所需的型態，此項處理是透過「即時氣象、颱風預報資料格式轉換」功能來達成。

5. 資訊展現

資訊展現也是地理資訊系統的基本功能，無論資料庫的初始資料，或是經過分析推理的結果，透過資訊展現功能可以提供決策者明確的資訊。資訊展現功能包括圖形、統計圖、統計表、屬性展現以及與網際網路界面的整合。

系統建置以 Microsoft Visual Basic 為程式語言，以 Environmental Systems Research Institute, ESRI) 的 ArcView 為地理資訊系統工具，透過其 Avenue 程式語言來建置所需要的功能。

第二節 資料庫內容

颱風防救決策支援系統資料庫包括氣象即時資料、颱風預報資料、颱風歷史資料、及基本資料，資料庫架構如圖 3-11 所示。

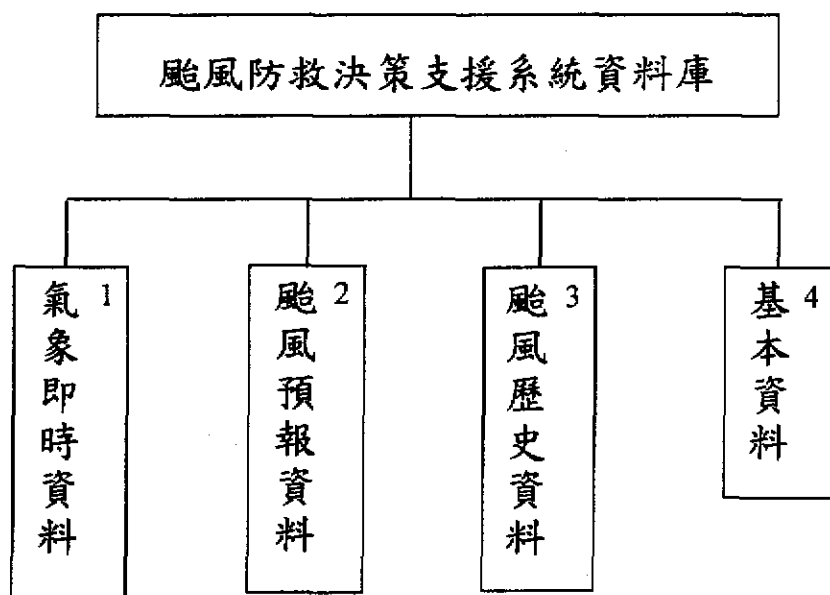


圖 3-11 資料庫架構

1. 氣象即時資料

氣象即時資料包括雨量、氣溫、濕度、氣壓、風向、蒸發量等，資料庫建置方式以氣象局之「點對點氣象防災服務資訊系統」為媒介，即時自網路檔案下載，儲存於資料庫中，提供氣象即時資料查詢、境況模擬、颱風潛勢等分析使用。

2. 颱風預報資料

颱風預報資料為颱風侵襲時，由氣象局所提供，資料也是透過「點對點氣象防災服務資訊系統」取得。

3. 颱風歷史資料

颱風歷史資料庫由中央氣象局於防災國家型科技計畫項下來建置，目前已完成 1949 至 2000 年曾經發生於台灣附近的 200 餘個颱風，目前完成的部分包括天氣圖（1986 年以後），衛星雲圖（1996-1998），颱風路徑（1949-2000），雷達回波圖（不同地點資料不同，最早資料時間為 1982），累積雨量（2000），颱風警報單（1984-2000），斜溫圖（1999-2000），測站資料（建站至 2000），災情（1980-1998，包括農業、漁業、水利、交通、電信、房屋、人員）等，這些資料可以透過申請取得，建置於資料庫中。

4. 基本資料

基本資料為進行危險度分析及查詢分析等所需之地理資料，包括基本環境資料庫、基本人文社經資料庫、公共設施資料庫與潛在災害資料庫。氣象即時資料、颱風預報資料與颱風歷史資料為颱風防救決策支援系統專用資料，必須由本系統自行收集與建置，而基本資料為救災相關系統之共同性資料，無論本計畫的其他子計畫--洪水、土石

流、地震防救決策支援系統，或各層級災害防救中心的緊急應變系統等，都需共同使用，因此不宜由本計畫自行收集或建置，應該以整合性的方式，針對防救災所需基本資料進行資料庫的建立。目前已完成的資料庫項目如表 3-1 所示。

名稱	來源	說明
行政界線	主計處	縣市、鄉鎮、村里界
道路網	交通部運研所	1：25000
鐵路網		
工業區	工業局	
人口分佈	縣市統計要覽	
河流	水資局	

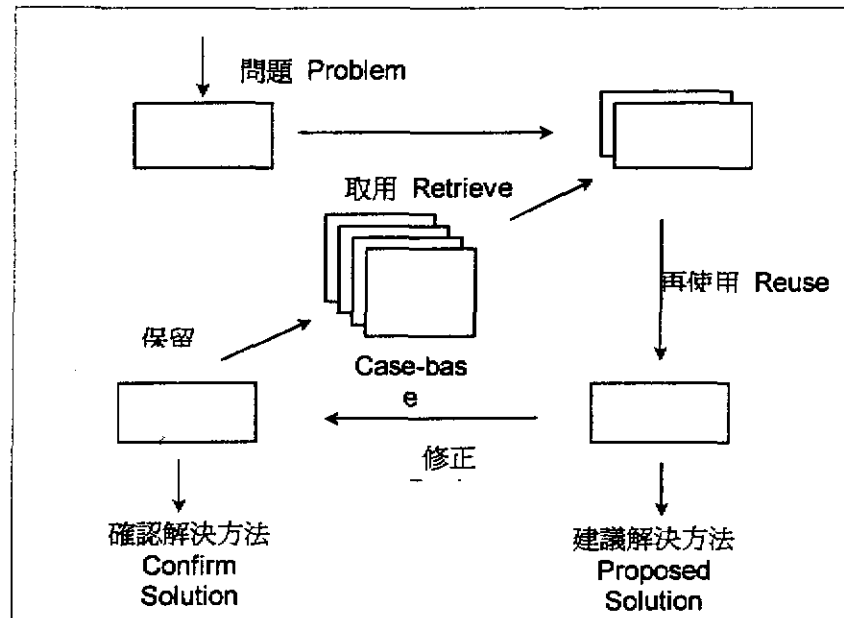
表 3-1 基本資料庫一覽表

第四章 運用案例式推理於颱風路徑預測

第一節 案例式推理 (case-based reasoning)

案例式推理是近年於人工智慧領域所發展的一種推理方法，案例在案例式推理中是最基礎的單元，其基本概念是充分運用過去的經驗，將發生過的案例分解成問題 (problem)、解決方法 (solution) 與結果 (outcome) (Kolodner, 1993)，當事件發生時，運用相似性 (similarity) 比對，擷取 (retrieve) 過去的經驗來做為解決問題的思考方向與解決方式或是針對過去的案例再做進一步的修正，做為問題的解決方法。案例式推理的機制包括四個循環的動作 (圖 4-1)：資料擷取 (retrieve)、再使用 (reuse)、修正 (revise)、保留 (retain)。

1. 資料擷取 (retrieve)：運用相似性比對從資料庫中擷取和過去最相似的案例。
2. 再利用 (reuse)：運用相似案例解決方法來處理目前的問題。
3. 修正 (revise)：如果過去相似的案例不完全符合現今的問題，可以過去的案例為基礎或參考，修正解決方法。
4. 保留 (retain)：修正後的案例保存於資料庫中成為新的案例。



資料來源：修改 Ian Watson,1997

圖 4-1 案例式推理的循環流程

案例式推理的核心為以相似度當做基礎的擷取方法，許多相似方法目前已被發展且使用中，最常被使用的二種方法分別為：近鄰法（nearest-neighbor retrieve）與歸納法（inductive retrieve）（Watson,1997），它們已經成功地被應用許多的案例當中，例如：環境問題（King, Alcantara, and Manan, 1999），金融系統，電腦指導等領域上。近年開始有人利用空間相似度的概念，將案例式推理應用到 GIS 中，Yeh and Shi（1997）及 Yeh and Shi（1999）以案例式推理輔助都市計劃審議案的進行，並且整合地理資訊系統軟體 ArcView 和案例式推理軟體 ESTEEM，建立一套可操作之系統，此系統並且可依空間位置進行案例的擷取（spatial retrieval）。Benwell and Holt（1999）使用案例式推理解決土壤分類的問題，在他們的試驗

中，土壤類別預測正確的機率高達 97.5 %。El-Kwae 和 Kabuka (1999)

發展出利用空間相似度從影像資料庫中擷取影像的基礎架構。

第二節 線型地物的空間相似度關係

颱風是台灣主要的災害之一，傳統的類比（analog）和數值（numerical）預測模式已被廣泛的應用到預測颱風路徑（typhoon track）上，但是二者都無法精準地預測出颱風路徑，主要的原因在於觀測資料不足以及預測模式的不完整。應用案例式推理來做為研究方法則是另一種研究取向，利用過去的歷史颱風做為案例資料庫，並擷取出和目前颱風路徑最相似的案例，而線型地物的空間相似度量測方法遂成為此研究取向的最重要的關鍵。

空間相似度可從許多方面來測量，形狀（shape）是空間地物最基本的特徵，El-Kwae 和 Kabuka（1999）發展出利用空間相似度從影像資料庫中擷取影像的基礎架構，所採用的擷取演算法考慮了方向（direction）和位相關係（topology），圖形即使經過平移（translation）、旋轉（rotating）和尺寸變化（scaling），還是可以尋找出相似的影像。方向是線型物件重要特性之一，它可以顯示線型物件的趨勢，Chiang（1998）利用股價曲線的型態相似性來預測股價未來的走勢。除了形狀和方向外，空間相互關係也是進行空間分析時的重要因素之一，許多研究都致力於空間相互關係的探討，其中 Egnhofer 和 Franzosa（1991）定義出二個物件產生交集時的六種空間相互關係，他們並不斷的修正原有的模式來剖析進一步的位相關係，例如：二物件的相

鄰關係 (touching and crossing) (Egnhofer 和 Franzosa, 1995)。

然而二線型地物的相互關係仍然未有具體研究成果，一般而言，二個線型地物必存在有四種基本的關係 (圖 4-2)，分別為：連結 (connect)、相交 (intersect)、重合 (coincide)、分離 (disjoin)。連結和重合可視為特殊的相交關係，因此對於線資料而言，空間相互關係可被簡略的分為二大類別：相交和分離。

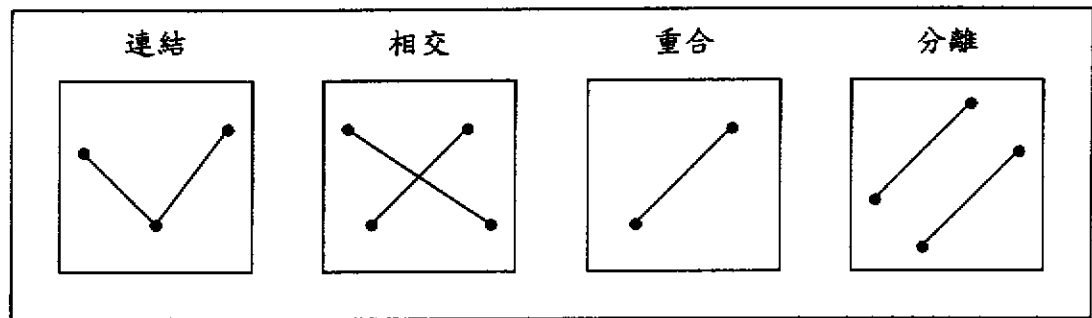


圖 4-2 線型資料的空間相互關係

線資料的空間相似度關係和形狀、方向、空間相互關係皆有關聯性，只利用線資料的形狀來定義空間相似度似乎是不足夠的，因為它忽略了空間的涵蓋範圍，這對於地理課題的分析是相當重要的因子。在颱風的範例中，二條路徑具備相似的形狀並無法得知其行進的空間範圍是否相似；方向和空間相互關係卻可以描述出一般的走向和路徑的分布，因此對於颱風路徑的空間相似度而言，可以以方向和空間相互關係做為代表因子。

二條颱風路徑的方向和空間相互關係的相似度量測可以利用二

者間的距離來代表(圖 4-3)，當二者的距離越接近零時，代表二條颱風路徑越接近，相似度也就越高，反之，當相距的距離越大時，代表二條颱風路徑越疏遠，相似度也就越低。

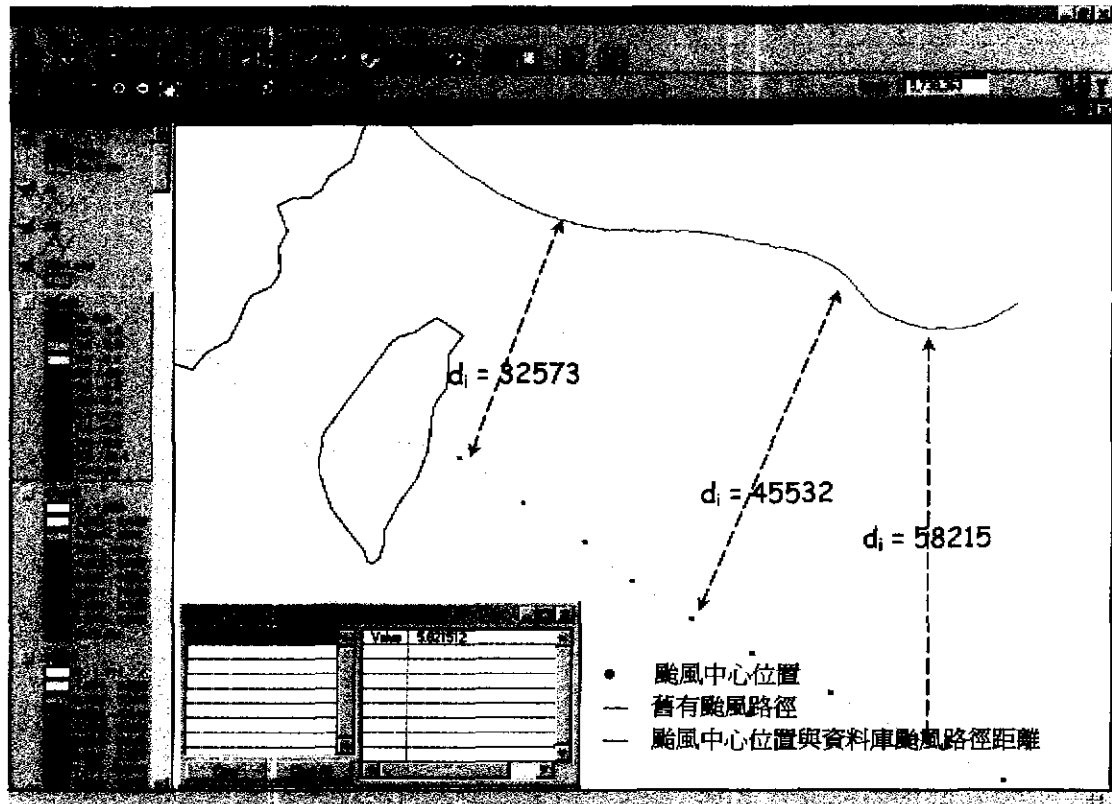


圖 4-3 空間相似度的度量

第三節 颱風路徑案例分析

為了運用案例式推理於颱風防救決策支援系統中，本研究首先進行可行性研究，以中央氣象局所建置的歷史颱風資料庫中的颱風路徑資料做為研究的對象，中央氣象局將 1949 年以來所發生的颱風，將其路徑、強度及當時台灣各地的風力資料收集並建立資料庫，其中路徑資料是每小時記錄一次颱風的中心位置。本研究取 1949-2000 年間共 233 個颱風為案例，然後以隨機的方式，抽取其中的 17 個颱風路徑做為測試案例。

空間相似度的測量方法是以二條路徑間的距離做為量測基礎，並以此基礎來建立空間相似性指標，定義如下：

$$SSI_{ih} = 1 - \frac{D_{ih}}{\sum_{j=1}^m D_{ij}} \quad SSI \text{ 的範圍} : 0 < SSI < 1$$

SSI_{ih} : 颱風路徑 i 和 h 的空間相似度指標

D_{ij} : 颱風路徑 i 和所有颱風案例的距離總和

m : 颱風的案例數

$$D_{ih} = \sum_{s=1}^n d_s$$

D_{ih} : 颱風路徑 i 和 h 的最短距離總和

d_s : 颱風路徑 i 和 h 的最短距離

n : 颱風生成的時間間隔

最短距離是以颱風路徑中的節點（每小時間隔行進的位置）為計算基準，由於颱風前進的速度會隨時改變，因此節點的選取並非取時間對應節點，而是以測試路徑的節點為起點，搜尋候選路徑中最靠近的節點，然後計算二節點之間的直線距離。

當我們透過相似度的量測，從案例庫中擷取相似的案例時，必須對相似度設立擷取標準，當相似度標準設定為一時，只有完全重合的颱風路徑才會被擷取出來，而當設定為零時，所有颱風路徑都會被視為相似案例，因此必須設定一個適當值，經由案例分析，0.9995 是理想值，所擷取出的案例路徑數目，以及測試路徑的相似度都在理想範圍之內。

為了便於與中央氣象局現有資料進行比較，以評估研究結果的適宜性，相似度計算僅取颱風發生後的 24 小時資料，評估項目包括圖形方法、登陸地點誤差、以及 24 小時路徑平均誤差等。

隨機抽取的 17 筆颱風資料，經過相似度計算，從 216 個案例中

擷取出的相似案例 (SSI > 0.9995) 詳見圖 4-4。17 個颱風中，有九個颱風登陸台灣，計算個別颱風的登陸地點與所擷取出的相似颱風的登陸地點做比較，其平均誤差如表 4-1 所示，其中誤差距離低於 30 公里的有二個颱風，大於 80 公里的也有二個，平均誤差約 56 公里。將預測結果與中央氣象局的資料進行比較，計算 24 小時內預測颱風路徑與實際颱風路徑的平均誤差，結果如表 4-2 所示，顯示經由案例推理方式所得的結果優於統計預報及數值預報，其平均誤差分別為 36.64、175.88、及 208.24 公里。

表 4-1 登陸地點誤差

颱風名稱	登陸地點誤差 (Km)
Marian	80.56
Doug	24.09
Tim	37.81
Omar	90.21
Yancy	68.85
Ofelia	55.68
Dot	58.71
Ted	66.19
Herb	27.97
平均誤差	56.67

表 4-2 不同預測方法平均誤差比較

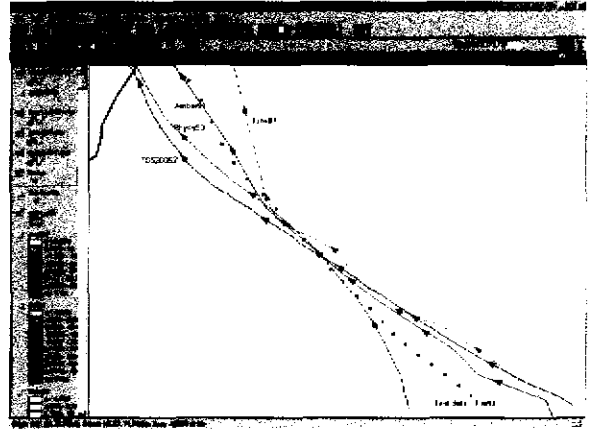
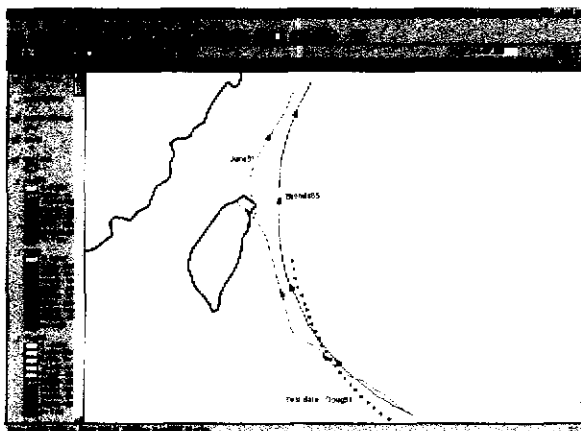
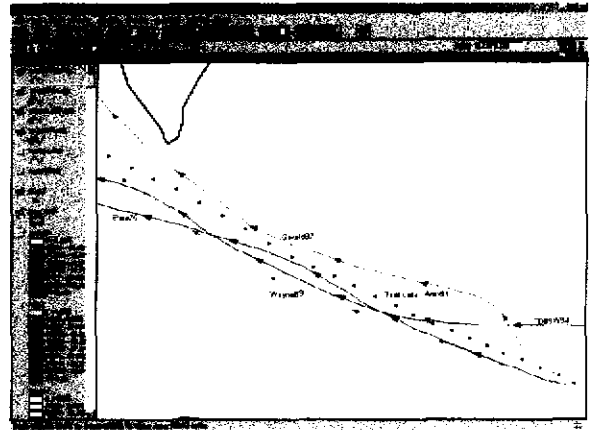
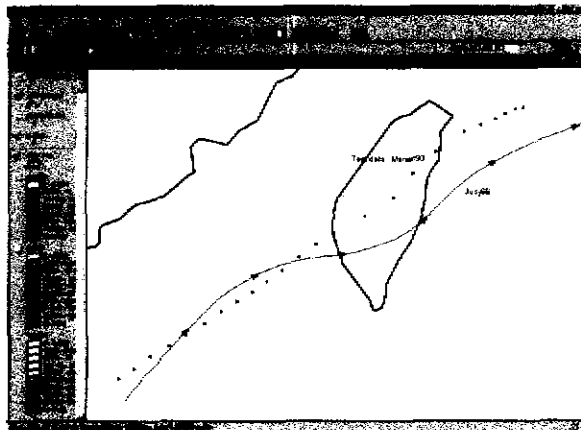
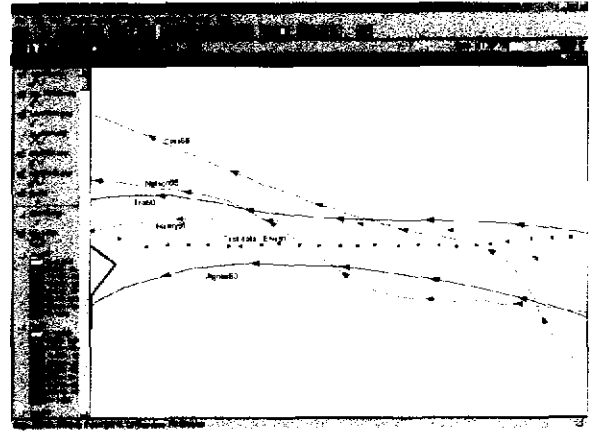
單位：公里

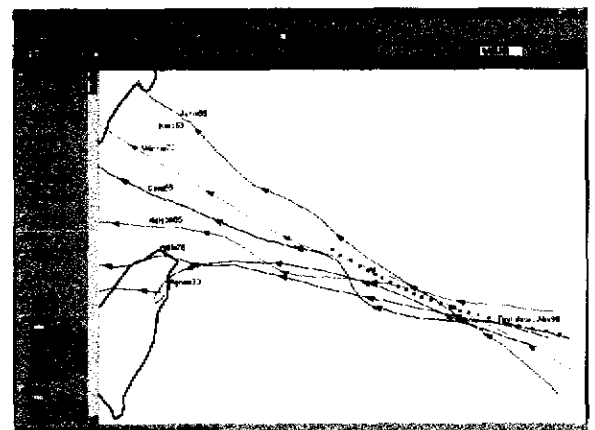
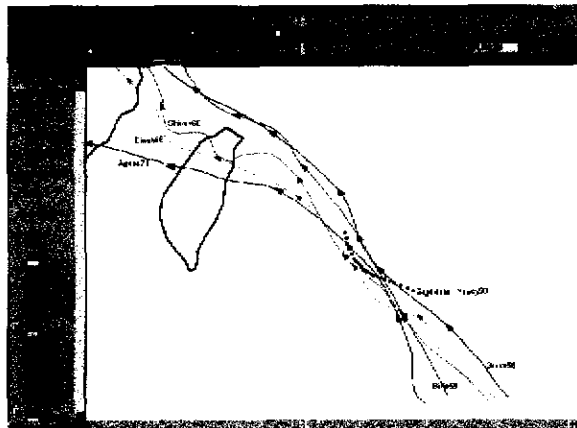
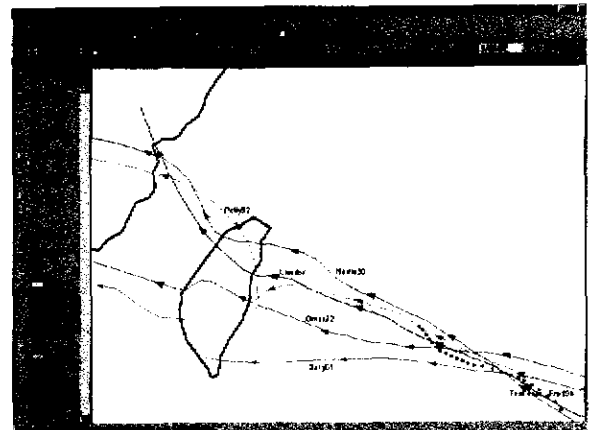
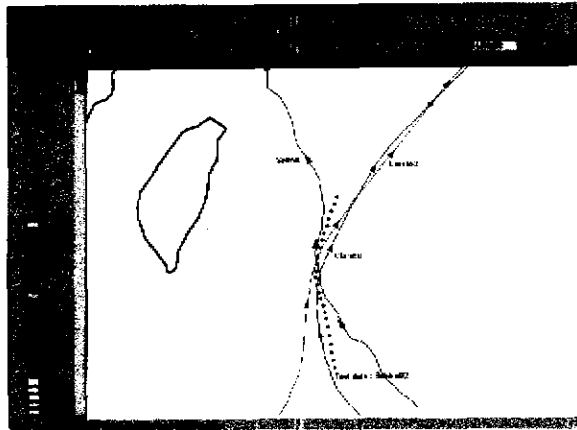
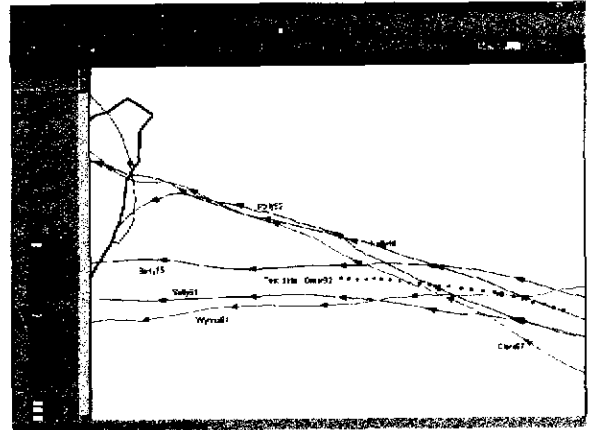
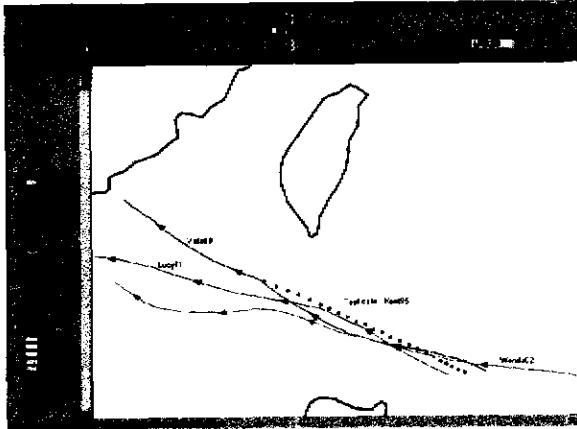
颱風名稱	案例式推理平均 誤差	統計預報平均誤差	數值模式平均誤差
Ellie	42.90	155.36	121
Marian	62.61	326	321
Amy	35.70	175.43	166.99
Doug	40.10	--	192
Tim	44.92	229.28	--
Kent	37.33	--	--
Omar	40.08	--	222
Bobbie	33.60	222.24	191.52
Fred	30.20	177	209
Yancy	23.87	158	239
Abe	37.70	161	173
Ofelia	28.75	143.1	269.9
Ruth	34.91	131.99	120
Dot	18.48	85	186
Tasha	33.97	172	361
Ted	11.08	--	--
Herb	66.64	150	143
平均	36.64	175.88	208.24

資料來源：本研究整理

--- 測試的颱風路徑

← 預測的颱風路徑





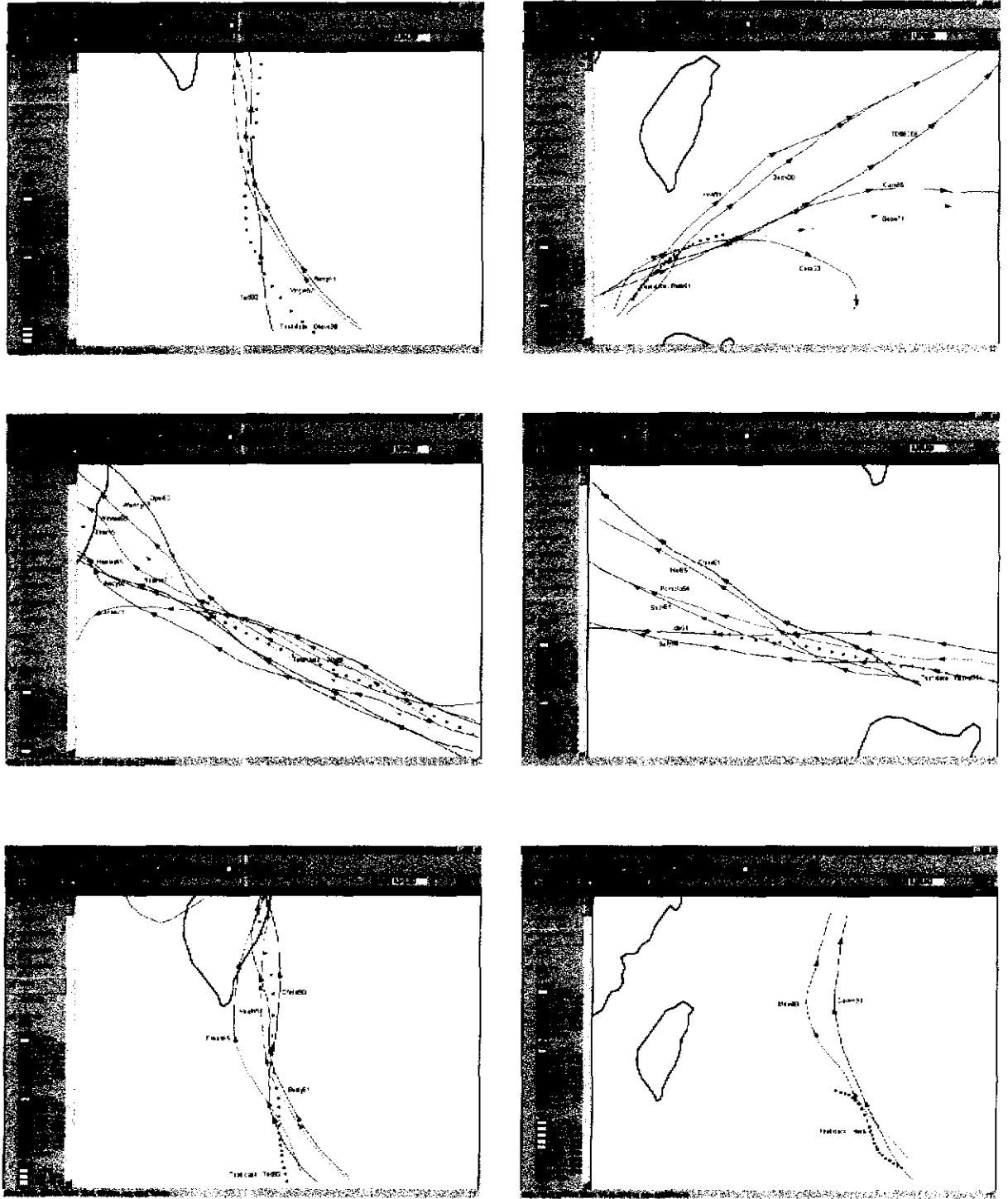


圖 4-4 測試颱風路徑與預測颱風路徑 (SSI > 0.9995)

初步結果顯示本研究所研擬的相似度指標可以運用於線型地物

的相似度度量，尤其適用於不規則的線型地物，而以案例推理方式進行颱風路徑預測的效果顯示極為良好，24 小時平均誤差優於中央氣象局所採用的數值預報及統計預報資料(以本研究所收集到的資料為限)，登陸地點平均誤差僅約 56 公里。以案例式推理進行颱風路徑預報不需要大量的即時氣象監測資料，僅需即時颱風中心位置資料，因此施行的可行性高。

根據可行性研究的成果，本計畫將案例式推理整合於颱風防救決策支援系統中，做為颱風潛勢與危險度分析的基礎。

第五章 結論與後續研究

第一節 結論

本計畫完成颱風防救決策支援系統及資料庫的建置，系統架構以地理資訊系統技術為核心，以地理空間為資訊整合的媒介，以整體防災救決策支援系統架構為依據，以便與土石流、洪水、地震防救決策支援系統整合。

系統功能包括查詢分析、潛勢分析、危險度分析、資料載入及資訊展現等五大部分，提供即時及預測的分析功能，其中潛勢分析及危險度分析所根據的颱風路徑是運用案例式推理機制所預測的結果。從本計畫的適宜性研究發現，案例式推理應用於颱風路徑的預測效果良好，值得繼續發展。

資料庫包括即時資料、颱風歷史資料及基本資料，即時資料為颱風及氣象即時資料，配合中央氣象局的「點對點氣象防災服務資訊系統」，資料可以即時取得，惟系統必須提供即時轉換功能，才能即時提供分析使用；颱風歷史資料為案例式推理的基礎，中央氣象局也已經完成 1949 至 2000 年發生於台灣附近的 200 餘個颱風資料庫的建置，配合本計畫所發展的方法，充分發揮颱風歷史資料庫的功能。

案例式推理是本年度的研究重點，以二百餘個歷史颱風做為案例庫，以所發展的相似案例擷取方法，對任意選擇的 17 個颱風進行測試，分析結果顯示，登陸地點平均誤差為 56 公里，前 24 小時的路徑平均誤差為 36.64 公里，顯示預測的效果良好，值得進行深入的研究。

參考文獻

- 國科會，八十七年度防災專案計畫成果研討會論文集。
- 中央氣象局，百年侵台颱風路徑圖集。
- 國科會，防災國家型科技計畫規劃報告。
- 蔡博文，許家成（2000）智慧型地理資訊系統的發展—案例式推理的結合，地理學報 28/29：25-34。
- 孫志鴻，詹仕堅（1999）類神經網路在集水區降雨逕流模擬之應用，國立台灣大學地理學系地理學報，25：1-14。
- 氣象科技研究中心：民國七十八年颱風調查報告—侵台颱風（8919 號）莎拉。氣象學報，第三十六卷，第三期，P256-278。
- 廖志翔：民國七十九年颱風調查報告—侵台颱風（9003 號）瑪麗安。氣象學報，第三十七卷，第一期，P63-83。
- 陳正政：民國七十九年颱風調查報告—侵台颱風（9017 號）黛特。氣象學報，第三十七卷，第一期，P85-110。
- 陳圭宏：民國七十九年颱風調查報告—侵台颱風歐菲莉（9005 號）。氣象學報，第三十七卷，第二期，P174-189。
- 林燕璋：民國七十九年颱風調查報告—中度颱風楊希（9012 號）。氣象學報，第三十七卷，第二期，P190-215。
- 林燕璋：民國七十九年颱風調查報告—中度颱風亞伯（9014 號）。氣象學報，第三十七卷，第三期，P309-320。
- 林秀雯：民國八十年颱風調查報告—侵台颱風（9111）愛麗。氣象學報，第三十八卷，第一期，P80-95。
- 呂國臣：民國八十年颱風調查報告—侵台颱風（9123）露斯。氣象學報，第三十八卷，第四期，P367-378。
- 林秀雯：民國八十一年颱風調查報告—颱風（9202）芭比。氣象學報，第四十卷，第一期，53-68。
- 蔡甫甸：民國八十一年颱風調查報告—輕度颱風（9219）泰德。氣象學報，第四十卷，第一期，69-85。
- 呂國臣：民國八十一年颱風調查報告—強度颱風（9215）歐馬。氣象學報，第四十卷，第三期，258-269。
- 陳圭宏、蔡甫甸、蕭家森：民國八十年颱風調查報告—侵台颱風（9107）艾美。氣象學報，第四十卷，第四期，313-330。
- 吳天瑞：民國八十一年颱風調查報告—寶莉颱風（9216）。氣象學報，

- 第四十卷，第四期，331-353。
- 林大偉：民國 83 年颱風調查報告—颱風 (9405) 提姆。氣象學報，第四十一卷，第一期，61-78。
- 吳婉華：民國八十二年颱風調查報告—塔莎颱風 (9311)。氣象學報，第四十一卷，第三期，219-234。
- 謝明昌：民國 83 年颱風調查報告—輕度颱風凱特琳 (9412)。氣象學報，第四十一卷，第四期，295-311。
- 呂國臣：民國 83 年颱風調查報告—道格颱風 (9413)。氣象學報，第四十二卷，第一期，44-59。
- 謝明昌：民國 84 年颱風調查報告—肯特颱風 (9509)。氣象學報，第四十二卷，第一期，60-79。
- 林秀雯：民國 85 年颱風調查報告—賀伯颱風 (9608)。氣象學報，第四十二卷，第一期，80-102。
- 蔡甫甸：民國 83 年颱風調查報告—弗雷特颱風 (9415)。氣象學報，第四十二卷，第二期，184-200。
- 陳得松、黃康寧：民國 86 年颱風調查報告—溫妮颱風 (9714)。氣象學報，第四十二卷，第三期，248-269。
- 劉復誠：民國 86 年颱風調查報告—中度颱風安珀 (9717)。氣象學報，第四十二卷，第三期，270-312。
- 劉復誠：民國八十七年颱風調查報告—強烈颱風瑞伯 (9810)。氣象學報，第四十二卷，第四期，356-403。
- 丘台光：民國八十七年颱風調查報告—妮蔻兒颱風 (9801)。氣象學報，第四十三卷，第三期，49-61。
- 徐辛欽：民國八十八年颱風調查報告—瑪姬颱風 (MAGGIE, 9906)。氣象學報，第四十三卷，第三期，63-83。
- Benwell, G.L. and Holt, A. (1999) Applying Case-Based Reasoning Techniques in GIS, *International Journal of Geographical Information Science*, 13(1): 9-25.
- Board on Natural Disasters, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council (1999) "Reducing disaster losses through better information", National Academy Press: Washington, D.C.
- Chiang, Yueh-Huey (1998) Similarity Search in Time-Series Databases: Using the Database of Taiwan Stock Price, master Thesis, Institute

- of Information Management, National Taiwan University: Taipei.
- Dai, X. and Khorram, S. (1999) Data Fusion Using Artificial Neural Networks: A Case Study on Multitemporal Change Analysis, *Computers, Environment and Urban Systems*, 23 (1) : 19-31.
- El-Kwae, Essam A. and Kabuak, Mansur R. (1999) A Robust Framework for Content-Based Retrieval by Spatial Similarity in Image Databases, *ACM Transactions on Information Systems*, 17(2):174-198.
- Farley, James (1999) "Disaster Management Scenarios", discussion paper, Open GIS Consortium Technical Committee.
- King, Josh M.P., Alcantara-Banares, Rene, and Manan, Zainuddin A. (1999) Minimising Environmental Impact Using CBR: an Azeotropic Distillation Case Study, *Environmental Modelling & Software*, 14:359-366.
- Holt, A. and Benwell, G.L. (1999) "Applying Case-Based Reasoning Techniques in GIS", *International Journal of Geographical Information Science*, 13(1):9-25.
- Lasse, Moller-Jensen (1997) Classification of Urban Land Cover Based on Expert Systems, Object Models and Texture, *Computers, Environment and Urban Systems*, 21(3/4): 291-302.
- Kolodner, J. (1993) *Case-Based Reasoning*, San Mateo: Morgan Kaufmann.
- Watson, Ian (1997) *Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems*, San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Yeh, Anthony Gar-on and Shi, Xun (1997) An Experimental System in Integrating Case-Based Reasoning and GIS for Processing Planning Applications in Hong Kong, *Proceedings, GIS AM/FM'97 & Geoinformatics'97*, Taipei, 711-722.
- Yeh, Anthony Gar-on and Shi, Xun (1999) Applying Case-Based Reasoning to Urban Planning: a Planning-Support System Tool, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26:101-115.