

案例式推理於地理資訊系統之應用 —以颱風路徑預測為例

許家成* 蔡博文**

摘要

結合人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 與地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 技術來解決空間問題, 是近年地理資訊系統研究領域關注的重點之一, 亦是地理資訊科學領域未來的發展趨勢。本研究運用案例式推理於颱風路徑預測上, 並結合地理資訊系統技術協助處理颱風路徑變化多樣性及複雜的程序。藉由颱風路徑知識庫 (Knowledge-Base) 的處理方式, 可整合不同類型資料與費時複雜的處理過程, 將經驗轉換為知識庫邏輯推論的機制, 快速推論出颱風未來可能的行進路徑, 建構出一套以知識庫為基礎的颱風路徑預測模式。

本研究總共使用 233 個發生於 1949 至 2000 年的歷史颱風案例, 其中任意抽取 16 個案例, 做為測試使用。結果顯示運用案例式推理的演算邏輯, 結合空間相似性指標 (Spatial Similarity Index, SSI), 可適用於不規則線型地物的相似度量, 將其運用於颱風路徑預測效果相當良好。就本研究分析所得, 登陸地點預測的平均誤差約為 39.51 公里, 颱風發生後的 24 小時路徑預報平均誤差約 61.81 公里, 平均每小時誤差為 40.05 公里, 由此顯示運用案例式推理於颱風路徑的預測可行性極高, 未來可望提供中央氣象局在預測颱風路徑時決策支援依據。

關鍵字: 人工智慧、地理資訊系統、案例式推理、颱風路徑預測

一、前言

以往人類無法掌握非常多且詳細的地理資訊, 故無法做有效正確的空間決策, 今日隨著科技技術的快速發展, 出現各種測量空間位置的方法及技術, 可做為研究調查時的輔助工具, 使地理資訊完整呈現且資訊內容更加充實, 決策輔助的準確性也大幅度地提高。但從過去的相關研究文獻顯示, 對於空間資料的分析與處理, 主要都是採用地理資訊系統技術 (Geographic Information Technologies) 做為主要分析或整合的工具, 本研究運用案例式推理於颱風路徑預測上, 結合地理資訊系統技術, 協助處理颱風路徑變化多樣性及複雜的程序。藉由颱風路徑知識庫 (Knowledge-Base) 的處理方式, 可整合不同類型資料與費時複雜的處理過程, 將經驗轉換為知識庫邏輯推論的機制, 快速推論出颱風未來可能的行

* 中華顧問工程司地理資訊部工程師(二)

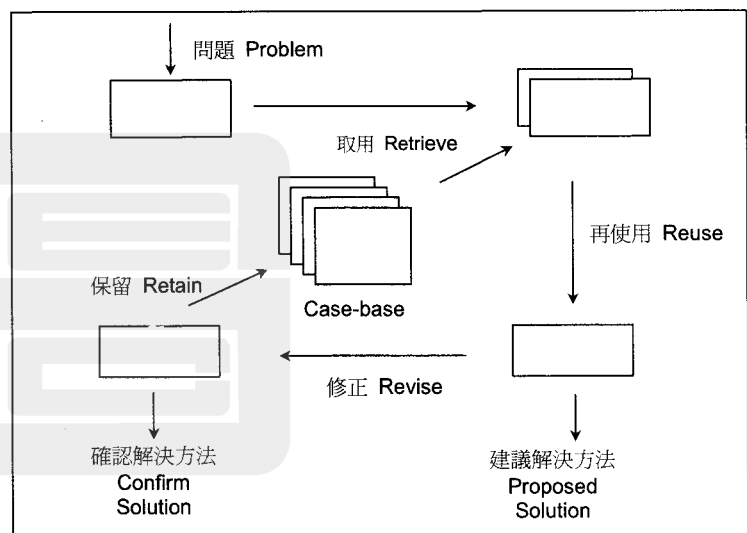
** 國立台灣大學地理環境資源學系統助理教授

進路徑，建構出一套以知識庫為基礎的颱風路徑預測模式。案例知識庫可以不斷擴充知識與模式進入資料庫中，故可於未來增加其它判斷因子，提高其預測精準度，同時也可克服資料的不確定性，是相當適合應用於推論颱風路徑的方法。

二、案例式推理方法

案例式推理(Case-Based Reasoning, CBR)係近年於人工智慧領域所發展的一種推理方法，發展起源於美國（1980 年代末），繼之在歐洲興起，過去大家都是使用人工智慧領域中專家系統(Rule-Based Expert System)來解決問題，但在專家系統中存有明顯的限制，例如：規則難以獲取、專業知識難以清楚表達、程式設計者無法清楚了解問題等面向，為了避免發生上述問題重覆發生，而有新的研究方法出現，因此有了案例式推理方法的誕生，利用案例(Case)來取代規則(Rule)，並隨著人工智慧領域的蓬勃發展，案例式推理愈來愈受重視，且已被廣泛應用於各領域之中。

案例式推理的使用原理為簡單且能夠被大家所接受的方法論(Ian Watson, 1999)，主要是案例式推理方法和傳統的方法不同，因為我們使用案例式推理時不需要知道問題的解決方法，只需要去組織與蒐集我們過去所做過相似的例子，充分運用過去的經驗，運用相似性(Similarity)比對，尋求以過去的經驗模式來作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，並且不需要再去引出專家所提出的理論與研究。



(資料來源：Ian Watson, 1997)

圖 1 案例式推理的循環流程

$$\text{Similarity}(T, S) = \sum_{i=1}^n f(T_i, S_i) \times W_i \quad (1)$$

式中，T：新進來的例子；S：系統中舊的例子；n：每一個例子當中屬性的數量；f：(T,S)屬性相似性的函數；i：個別的屬性從1到n；W_i：每一個屬性的加權。

三、颱風路徑預測分析

(一)研究範圍設定

本研究所關注的對象為過去侵襲台灣的颱風，這些颱風生成地點又集中在菲律賓群島以東和南海地區，因此研究範圍設定須以上述區域為主要考量因子，故本研究範圍設定以包含過去所有颱風行經

的區域，並納入菲律賓群島以東和南海地區做為本研究範圍，其研究區的四個座標點分別為：
 (110.357°E, 9.95°N)、(110.357°E, 44°N)、(158.757°E, 9.95°N)、(158.757°E, 44°N)。

(二) 颱風路徑預測模式建構流程

1. 颱風路徑知識庫案例建立

本研究採用的資料為中央氣象局所建置的歷史颱風資料庫中的颱風路徑資料，時間由 1949 年至 2000 年，將其路徑、強度及當時台灣各地的風力資料收集，並建立颱風路徑知識庫。

2. 颱風路徑資料轉化

(1) 將文字資料轉化為圖形數值化資料

颱風即時預報資料及歷史資料皆是來自氣象局，目前預報資料是以預報單之型式「點對點氣象防災服務資訊系統」提供資訊，但其記錄方式，皆以文字資料為主(如表 1)，須將 1949 至 2000 年颱風路徑文字資料進行空間轉化，使其成為具有空間特性的數值化資料(Digital Data)，才可進行後續分析使用。

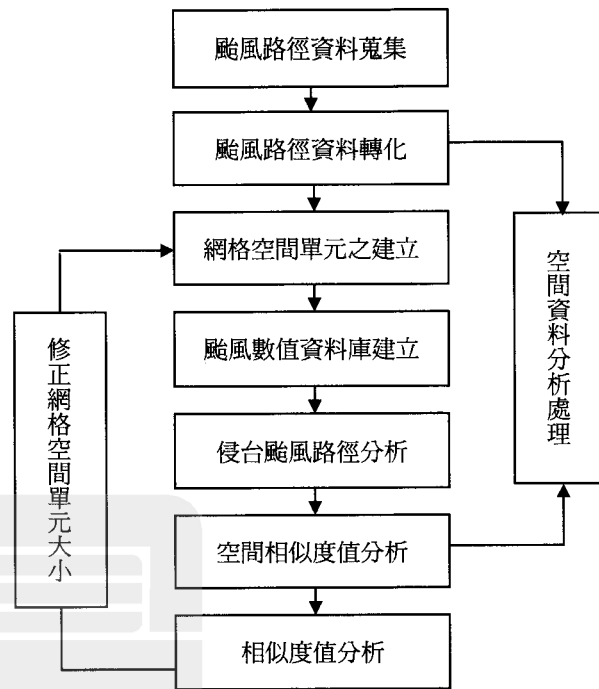


圖 2 颱風路徑預測模式建構流程

表 1 氣象局颱風路徑記錄資料

編號	日期	小時 (hr)	經度 (度)	緯度 (度)	氣壓值 (hPa)	風速 (m/s)
4922	1212	12	121.49°	19.06°	996	60
4922	1212	13	121.36°	19.15°	996	59
4922	1212	14	121.24°	19.27°	996	58

(2) 以連續性方式展示颱風路徑

氣象資料在地理資料的分布上，屬於連續性資料(Continuous Data)，因此氣象資料本身具有連貫性，故可將氣象資料做連續性處理。為了節省資料儲存空間及加快處理速度，提高預測的準確性，經由文獻的研究比較後，將採用 Douglas - Peucker Procedure 概括化演算方法，由於採用該方法，須設

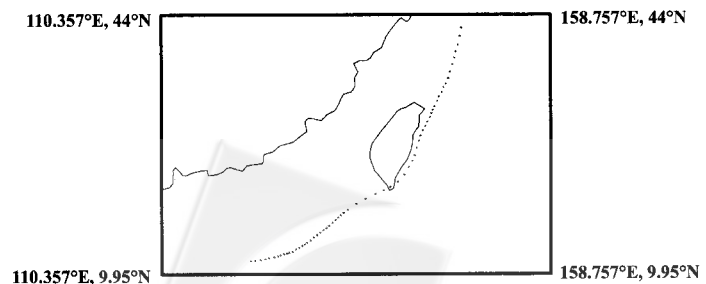


圖 3 颱風路徑空間數值化資料圖

立簡化門檻(Threshold)，經由文獻及資料測試驗證，本研究取網格空間單元邊長，以經緯度 0.05 度為門檻值進行概括化分析，其資料在概括化方法及資料的連續性綜合處理之後所得結果如圖 4。

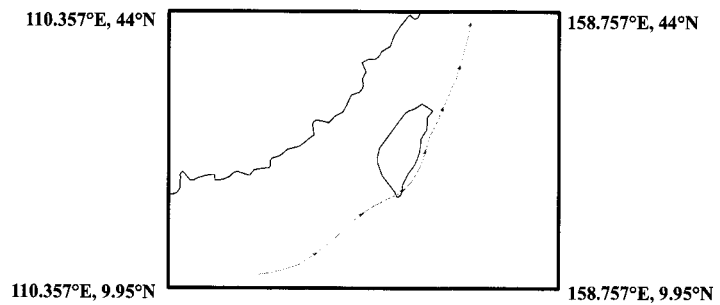


圖 4 概括化颱風路徑結果圖

(3) 網格式資料轉化

藉由文獻回顧中資料特性比較及參考 GFDL(Geophysical Fluid Dynamic Laboratory)颱風路徑預測模式後，本研究決定採用網格式資料為颱風路徑資料及預測分析時的資料格式，主要的理由為：第一、以網格來代替其空間的意涵可以忽略點、線、面資料之間相互關係的計算。第二、利用網格資料，可以最佳解析度的方式來進行資料處理。同時在精度至一致性的考量之下，本研究以上述方法之門檻值，作為本研究的網格空間單元的邊長，也就是以經緯度 0.05 度的網格做為空間單元。

(三) 颱風路徑的空間距離量測

因為歐幾里德幾何距離(Euclidean Distance)計算方式是採用網格單元距離屬性網格垂直截距(X_max)和水平截距(Y_max)來做為變數，藉由直角三角形的特性：

$$(\text{斜邊})^2 = (\text{股 A})^2 + (\text{股 B})^2 \tag{2}$$

將垂直截距最大值 (X_max)和水平截距最大值(Y_max)帶入式(2)中，便可求算出最短距離，詳細內容請參考圖 5 及圖 6。

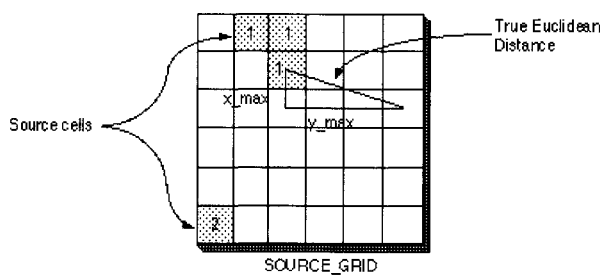


圖 5 Euclidean Distance 演算法的概念

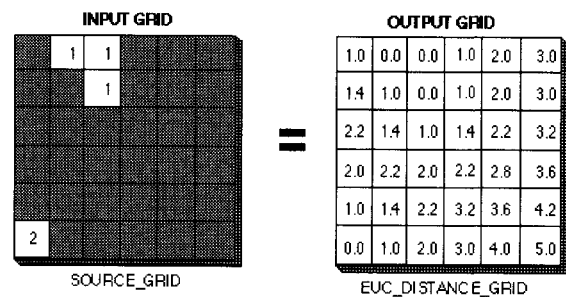


圖 6 Euclidean Distance 演算法的運算結果

(四) 空間相似度指標

空間相似度的量測方法是以二條路徑間的距離為量測基礎，並以此基礎來建立空間相似度指標 (Spatial Similarity Index, SSI)，定義如下：

$$SSI_{ih} = 1 - \frac{D_{ih}}{\sum_{j=1}^m D_{ij}} \quad SSI \text{ 範圍: } 0 < SSI < 1 \quad (3)$$

式中, m : 颱風案例庫中的所有颱風案例;

D_{ij} : 颱風路徑 i 與所有颱風案例的最短距離總和 (如式 4);

$$D_{ih} = \sum_{s=1}^N D_s \quad (4)$$

D_{ih} : 颱風路徑 i 與颱風案例 h 的最短距離總和;

D_s : 颱風路徑 i 與颱風案例 h 的最短距離;

N : 颱風生成至離開台灣的時間間隔。

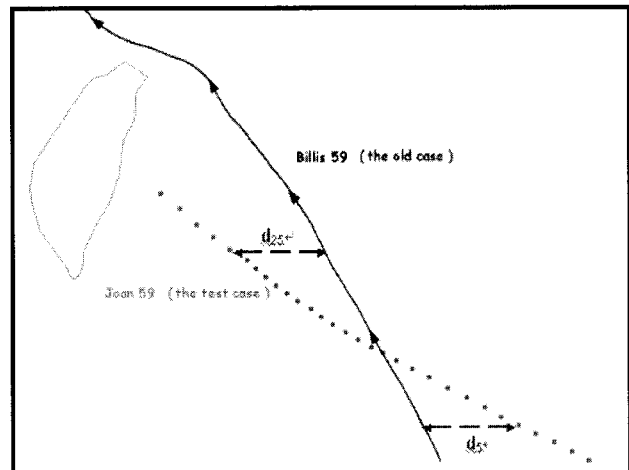


圖 7 空間相似度的度量概念圖

(五)空間相似度指標評估

經由測試結果顯示, 以 $SSI = 0.9995$ 為最理想推理值, 當 $SSI = 0.9995$ 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, 本研究的空間相似度計算僅取颱風發生後的 24、48 小時資料, 評估項目包括圖形方法、登陸地點誤差、以及 24、48 小時路徑平均誤差等。

(六)預測分析結果

若將預測結果與中央氣象局的資料進行比較, 所得結果如表 2 所示, 預測結果如圖 8 至圖 15 (由於版面限制, 僅將部分結果列出), 其中案例式推理 24 小時預測位置平均誤差值、統計預報 24 小時預測位置平均誤差值、數值模式 24 小時預測位置平均誤差值, 分別為 61.81、160.194 及 206.32 公里, 且在預測時間間隔內每小時的位置預測誤差僅 39.51 公里, 由此結果顯示案例推理所得的結果優於統計預報及數值預報, 且參考價值極高。

四、結論與建議

從研究結果中顯示, 本研究之成果已初步可行, 運用此方法來預測颱風路徑不僅效果極為良好, 並可提升地理資訊系統的分析功能, 使地理資訊系統具有空間推理的能力, 同時也較數值預報及統計預報 (以本研究所收集到的資料為限) 有大幅度的改善, 加上不需要即時的大氣資訊輔助, 故不會受到即時資料的影響, 若經更進一步驗證及發展, 可望作為路徑預測之決策支援。最後藉由颱風路徑模擬系統的開發, 將上述的研究成果進行整合, 使其路徑模擬系統可以在最短時間內, 找到和目前颱風最相似的路徑, 以達到預測颱風路徑的目的, 並藉由系統所擷取的颱風來推論未來可能造成的災情, 做為中央氣象局在預測颱風路徑時的參考依據。

表2 研究成果與中央氣象局預報誤差值比較

(單位：公里)

編號	颱風名稱	系統模擬 颱風名稱	案例式推理 平均誤差(24hr)	統計預報 平均誤差(24hr)	數值模式 平均誤差(24hr)	每小時 平均誤差	登陸地點 誤差
1	賀伯 (HERB)	MARY65	2.38	150	143	48.6	20.89
2	愛麗 (ELLIE)	TRIX 60	32.73	155.36	121	24.07	未登陸
3	道格 (DOUG)	BRENDA 85	106.79	未公布	192	59.78	未登陸
4	歐馬 (OMAR)	BETTY 75	56.63	未公布	222	76.07	78.74
5	提姆 (TIM)	AMBER 97	162	229.28	未公布	56.14	13.64
6	肯特 (KENT)	LUCY 71	55	68	未公布	15.66	未登陸
		VIOLA 69	61.49				
7	芭比 (BOBBI)	CLARA 50	46.67	222.24	191.52	25.26	未登陸
8	瑪麗安 (MARIAN)	JUDY 66	62.22	326	321	51.15	38.60
9	桃芝 (TORAJI)	VERNON 87	81.39	64.10	未公布	31.32	78.77
10	塔莎 (TASHA)	SALLY 96	3.81	172	361	15.90	未登陸
11	泰德 (TED)	OFELIA 90	56.14	227	未公布	24.50	48.13
12	黛特 (DOT)	WINNIE 58	23.96	85	186	21.48	57.77
		Joan 59	64.10				30.39
13	露絲 (RUTH)	BETTY 80	112.04	131.99	120	93.59	未登陸
		IRMA 81	114.85				
14	亞伯 (ABE)	NINA 53	54.54	161	173	27.53	未登陸
		WINNIE 72	98.77				
15	楊希 (YANCY)	BILLIE 59	76.38	158	239	54.94	36.60
		GRACE 58	85.88				47.98
16	潭美 (TRAMA)	Lorna 61	4.5	92.74	未公布	6.24	2.19
--	平均誤差		61.81	160.194	206.32	39.51	39.51

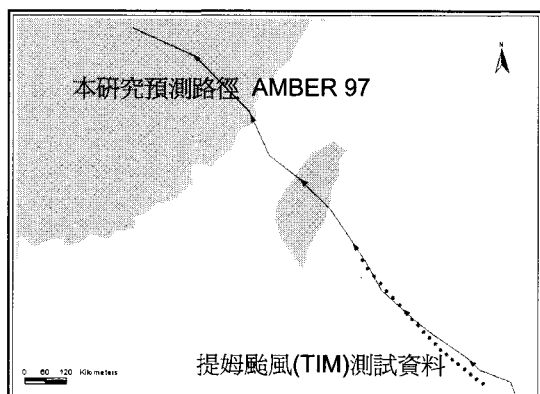


圖 8 提姆颱風測試資料與預測路徑圖

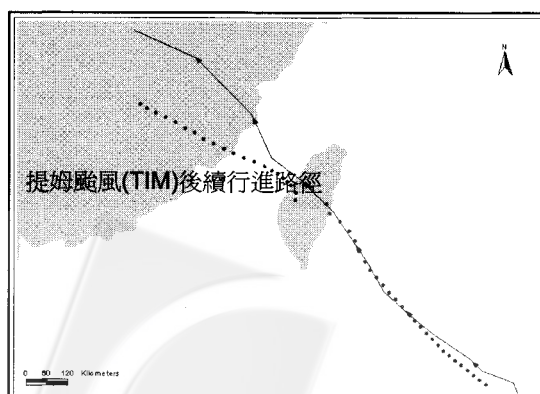


圖 9 提姆颱風後續行進路徑與預測路徑比較圖

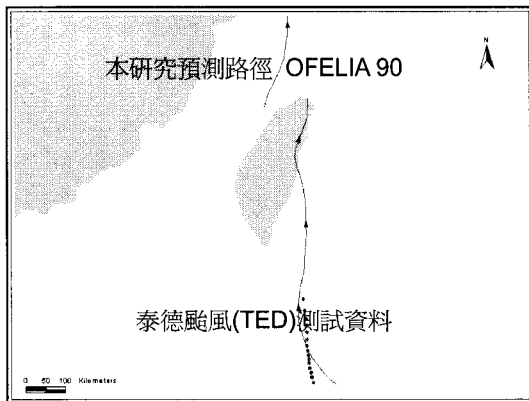


圖 10 泰德颱風測試資料與預測路徑圖

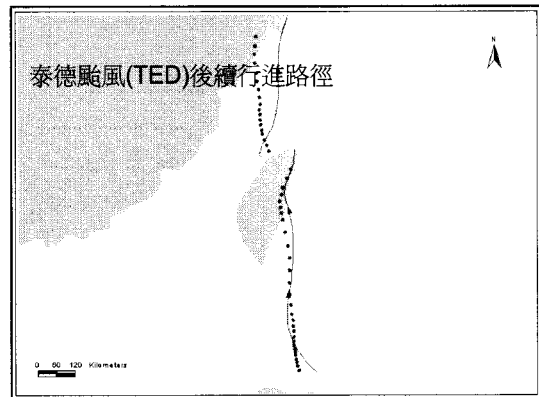


圖 11 泰德颱風後續行進路徑與預測路徑比較圖

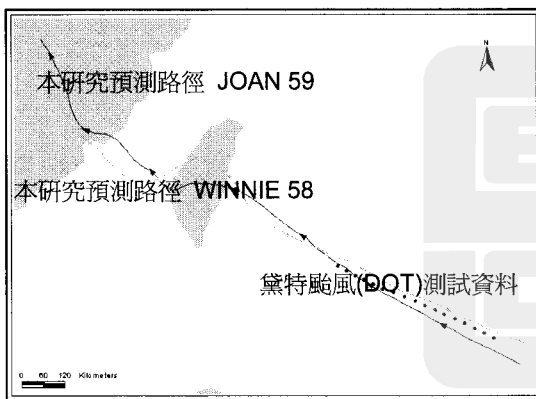


圖 12 黛特颱風測試資料與預測路徑圖

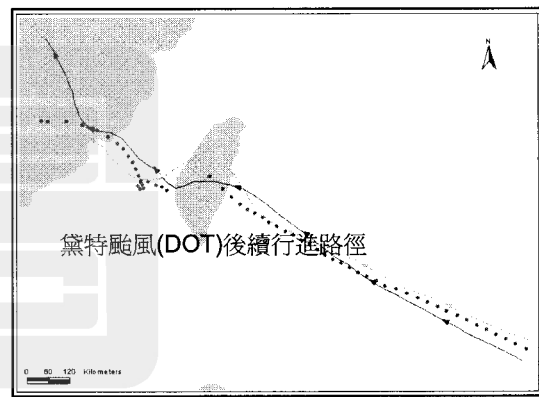


圖 13 黛特颱風後續行進路徑與預測路徑比較圖

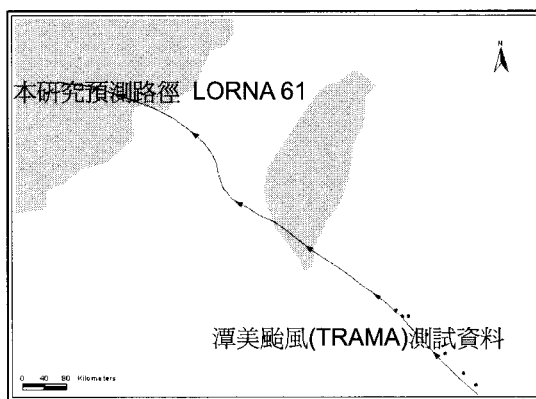


圖 14 潭美颱風測試資料與預測路徑圖

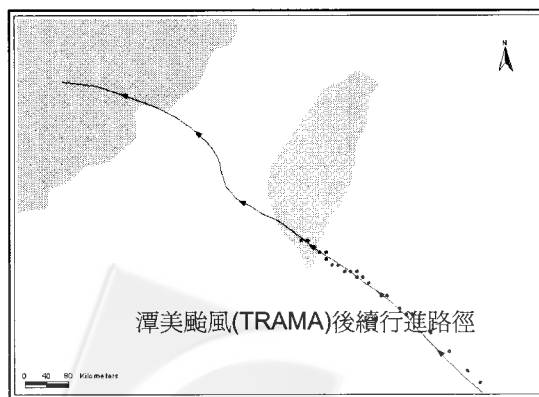


圖 15 潭美颱風後續行進路徑與預測路徑比較

參考文獻

- 呂國臣(1994)民國 83 年颱風調查報告—道格颱風 (9413 號), 氣象學報, 第四十二卷, 第一期, 第 44-59 頁
- 呂國臣(1991)民國八十年颱風調查報告—侵台颱風 (9123 號) 露斯, 氣象學報, 第三十八卷, 第四期, 第 367-378 頁
- 呂國臣(1991)民國八十一年颱風調查報告—強度颱風 (9215 號) 歐馬, 氣象學報, 第四十卷, 第三期, 第 258-269 頁
- 林燕璋(1990)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, 第 190-215 頁
- 林燕璋(1990)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, 第 309-320 頁
- 林秀雯(1991)民國八十年颱風調查報告—侵台颱風 (9111 號) 愛麗, 氣象學報, 第三十八卷, 第一期, 第 80-95 頁
- 林秀雯(1992)民國八十一年颱風調查報告—颱風 (9202 號) 芭比, 氣象學報, 第四十卷, 第一期, 第 53-68 頁
- 林秀雯(1996)民國 85 年颱風調查報告—賀伯颱風 (9608 號), 氣象學報, 第四十二卷, 第一期, 第 80-102 頁
- 林大偉(1994)民國 83 年颱風調查報告—颱風 (9405 號) 提姆, 氣象學報, 第四十一卷, 第一期, 第 61-78 頁
- 吳婉華(1993)民國八十二年颱風調查報告—塔莎颱風 (9311 號), 氣象學報, 第四十一卷, 第三期, 第 219-234 頁
- 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, 第 25 期, 第 1-14 頁
- 許家成、李維峰、黃俊能(2004)山區道路邊坡崩塌防治工法最佳化研究, 工程, 第 77 卷, 第四期, 第 76-84 頁
- 陳正改(1990)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, 第 84-110 頁
- 陳圭宏、蔡甫甸、蕭家森(1991)民國八十年颱風調查報告—侵台颱風 (9107 號) 艾美, 氣象學報, 第四十卷, 第四期, 第 313-330 頁
- 蔡博文、許家成(2001)智慧型地理資訊系統的發展—案例式推理的結合, 地理學報, 第二十八期, 第 17-26 頁
- 蔡甫甸(1992)民國八十一年颱風調查報告—輕度颱風 (9219 號) 泰德, 氣象學報, 第四十卷, 第一期, 第 69-85 頁
- 廖志翔(1990)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, 第 63-83 頁
- 謝明昌(1995)民國 84 年颱風調查報告—肯特颱風 (9509 號), 氣象學報, 第四十二卷, 第一期, 第 60-79 頁
- 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), pp.19-31
- Holt, A. and Benwell, G. L. (1999) Applying Case-based Reasoning Technique in GIS, INT. J. Geographical Information Science, 1999, Vol.13, No.1, pp.9-25
- Laurini, R. and Thompson, D. (1992) Fundamentals of Spatial Information System, Academic Press, Orlando, Florida
- Watson, I. (1997) Applying Case-Based Reasoning: Technique for Enterprise Systems, San Francisco, Morgan Kaufmann

最新應用程式

公開發售

1. 位移法耐震性能評析及設計：售價新台幣 3,000 元／套
2. 地下鑽探助理 PC 版：售價新台幣 20,000 元／套
PDA 版：售價新台幣 4,000 元／套
3. 補強式梁柱接頭輔助設計程式：售價新台幣 50,000 元／套

訂購電話：(02)2769-2131 轉 21406 馬小姐
傳 真：(02)2766-9184
E-MAIL：pony@sinotech.org.tw