

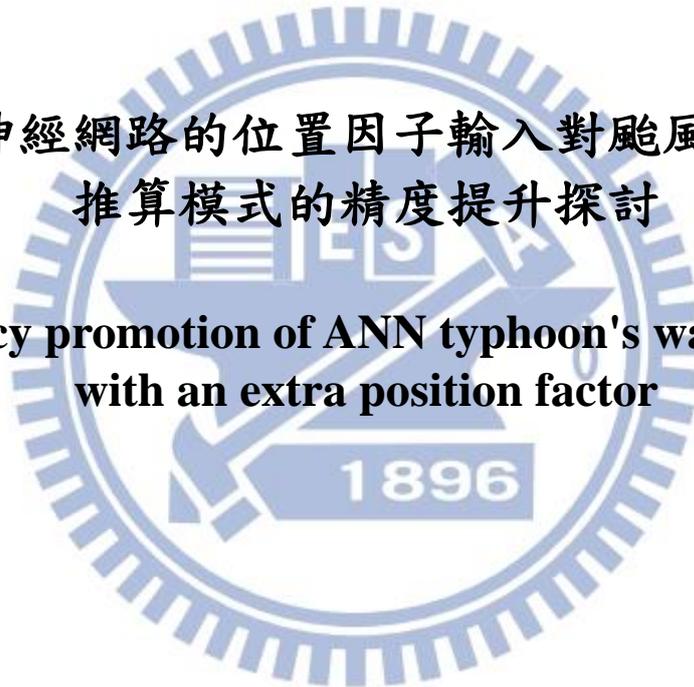
國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

類神經網路的位置因子輸入對颱風波浪
推算模式的精度提升探討

**Accuracy promotion of ANN typhoon's wave model
with an extra position factor**



指導教授：張憲國博士

研究生：吳岳潤

中華民國一百零三年六月

類神經網路的位置因子輸入對颱風波浪推算模式的精度提升探討

研究生：吳岳潤

指導教授：張憲國 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

本研究使用位置因子輸入於類神經網路來建立颱風波浪推算模式，主要目的希望能提升往昔的類神經網路模式的預測精準度。本研究使用的風速資料點為臺北港的觀測樁 2009 至 2013 年而波浪資料為 2000 年至 2012 年。

往昔的基本類神經網路颱風波浪推算模式的主要輸入參數為目標點距離(D)、目標點方位角(θ_1)、颱風侵襲角(θ_3)、目標點風速(V_{10})以此參數為基礎建立的模式稱為 ANN-B；另外以歸屬函數轉換方位角(λ_1)及歸屬函數轉換侵襲角(λ_3)取代原本 ANN-B 的輸入值而建構出 ANN-M 模式。本文新提出波高空間資訊參數(C_h)及利用回歸公式之修正風速(V_c)或風速類神經模式推算風速(V_{ann})等輸入參數分別建立 ANN-V 及 ANN-P 兩個模式。最後以四個檢定指標及推算波高峰值差異比較 4 個模式推算未學習的颱風波高來比較模式推算能力，結果以 ANN-B 與 ANN-P 的推算結果較差，以 ANN-V 模式推算結果最佳。

本模式有可接受的精度及快速推算的能力，可應用颱風來襲前的即時波高預測，並可提供相關單位來管理海上活動及防災預浪的決策參考。

Accuracy promotion of ANN typhoon's wave model with an extra position factor

Author : Yueh-Jun Wu Advisor : Dr. Hsien-Kuo Chang

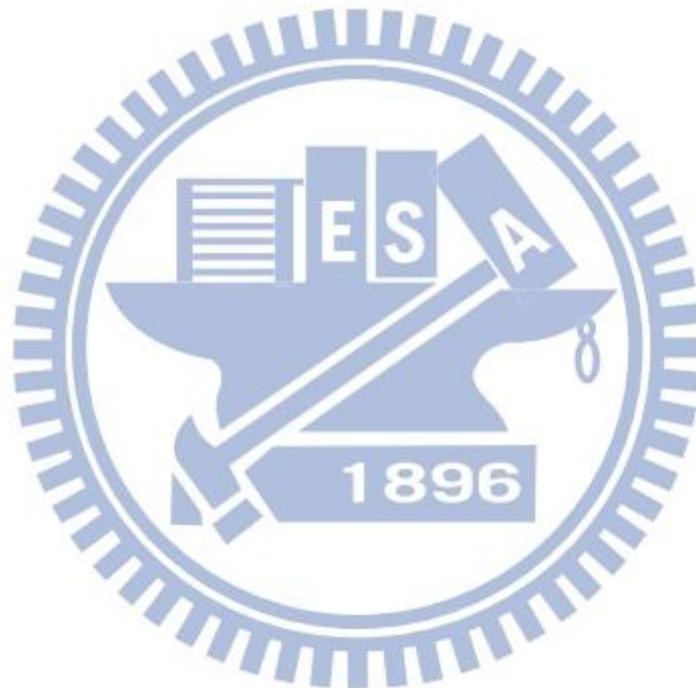
Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

ABSTRACT

An Neural Network (ANN) model imposed by position factor was developed to estimate better typhoon waves than the original ANN model. Wave data observed by the Harbor and Marine Technology Center from 2000 to 2012 at the Taipei port and wind data from 2009 to 2013 and typhoon data collected by JMA RSMC-Tokyo Center were collected to train the proposed ANN model.

The input parameters of original ANN-B model includes the distance from typhoon center to the interesting point (D), the azimuth between typhoon center and the interesting point (θ_1), position angle in the typhoon (θ_3), the wind velocity of the interesting point (V). The input parameters θ_1 and θ_3 in the ANN-B model were transformed by the Gauss member functions into λ_1 and λ_3 . The corresponding model is called ANN-M model. Two new ANN-V and ANN-P models were established by an alternative input parameter, wave height position factor (C_h), instead of original inputs θ_1 and θ_3 and corrected local wind velocity (V_c) which is obtained by a regression formula between wind velocity and wave heights or calculated wind velocity (V_{ann}) which is obtained by an ANN-W wind model. Model accuracy of estimating wave heights of untrained typhoons is examined by comparing four assessment indexes. The ANN-V model is examined the best among four models. The ANN-B and ANN-M models are worse for forecasting typhoon's waves than the other two models.

The proposed ANN-V wave model is examined to have high accuracy on real-time calculating typhoon waves. Therefore, the proposed model can be applied to provide wave information of a marine warning system for navigation and marine activities.



致謝

首先要感謝我的指導教授張憲國老師在這兩年的悉心教導，不僅教導我做研究所要有的態度、培養思考事情的邏輯、製作簡報的訓練、學習如何能有比較清楚的口條能力、及文章撰寫...等等。在論文初稿審核口試時，承蒙何良勝科長及陳蔚瑋學長提供寶貴的建議與指正，讓文章可以更加周延完整。

也非常感謝420研究室的學長、同學及學弟們。感謝研究室中的兩位大學長勁成與蔚瑋，在研究上給予許多幫忙。另外也非常感謝已畢業的林賢銘學長，不厭其煩的教導我類神經網路的許多相關知識。非常感謝三位同學這兩年來陪伴我上課、念書、趕報告、趕meeting，讓我感受到這間研究室充滿溫暖。也感謝學弟們，幫忙分擔研究室的一些瑣事。

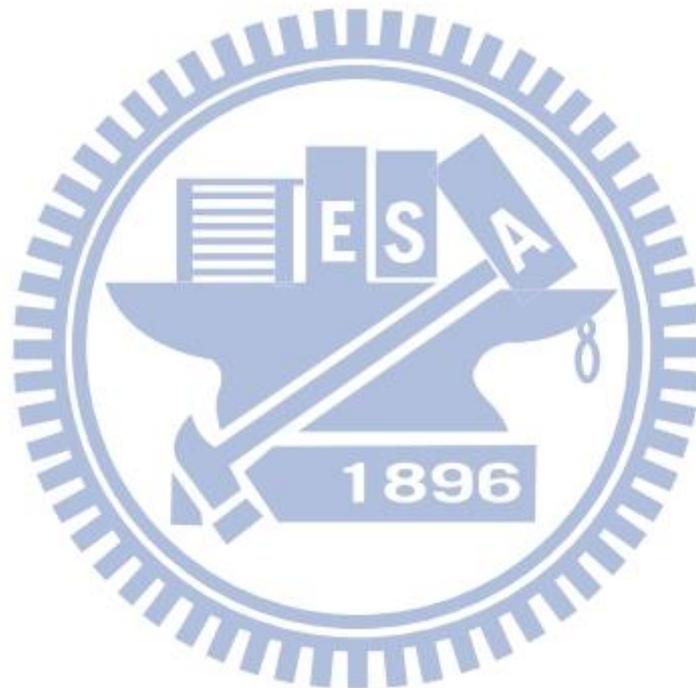
最後非常的感謝我的父母親，讓我可以無憂無慮的念書，完成這個碩士學位。非常感謝身旁的所有幫助過我的長輩、師長、學長、夥伴們，因為有你們的幫忙才能更順利完成學業。



目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
致謝.....	III
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 文獻回顧.....	3
1-2-1 數值模式或參數化經驗模式.....	3
1-2-2 類神經網路.....	4
1-3 文章架構.....	5
1-4 模式建構流程圖.....	6
第二章 颱風風速與波浪的資料分析.....	9
2-1 風速及波浪資料基本分析.....	9
2-2 颱風波浪特性之分組.....	16
第三章 參數化風場模型的評估.....	21
3-1 最大風速半徑.....	21
3-2 局部風速.....	28
3-3 局部風速的修正.....	29
第四章 類神經網路颱風波浪推算模式的建立.....	32
4-1 基本模式的架構.....	32
4-1-1 輸入參數的決定.....	32
4-1-2 模式架構的設定.....	34
4-2 參數轉換的修正模式.....	34
4-3 模擬準確度的評估.....	37
第五章 修正的類神經颱風波浪模式.....	43
5-1 局部風速的改正.....	43

5-2 臺北港的波高與颱風位置的空間資訊(C_h)	46
5-3 推算整場颱風歷時波高的比較	53
5-4 推算波高峰值的差異分析	60
第六章 結論與建議	63
6-1 結論	63
6-2 建議	64
參考文獻.....	66



圖目錄

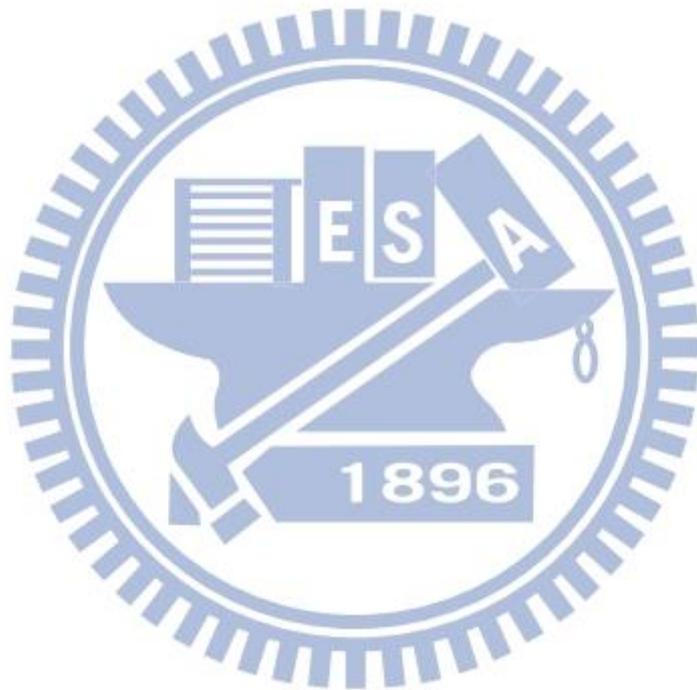
圖 1-1 因颱風事件造成七種高害損失的長條統計圖(金額:新台幣仟元)	1
圖 1-2 研究流程圖	7
圖 1-3 模式建構的流程圖	8
圖 2-1 臺北港離岸觀測樁位置圖	9
圖 2-2 臺灣地區颱風路徑分類圖(1987-2012)	14
圖 2-3 群集分類後的三類颱風路徑	18
圖 3-1 以不同公式計算雷馬遜颱風(2002)歷時的最大風速半徑	22
圖 3-2 以不同公式計算凡那比颱風(2010)歷時的最大風速半徑	23
圖 3-3 以不同公式計算梅姬颱風(2010) 歷時的最大風速半徑	23
圖 3-4 以不同公式計算桑達颱風(2011) 歷時的最大風速半徑	24
圖 3-5 以不同公式計算蘇拉颱風(2012) 歷時的最大風速半徑	24
圖 3-6 雷馬遜颱風(2002)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖	25
圖 3-7 凡那比颱風(2010)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖	25
圖 3-8 梅姬颱風(2010)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖	26
圖 3-9 桑達颱風(2011)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖	26
圖 3-10 蘇拉颱風(2012)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖	27
圖 4-1 颱風中心對目標點方位角 θ_1 與颱風移動方位角 θ_2 示意圖	33
圖 4-2 利用 Derivative-based 最佳化搜尋法求得的 θ_1 高斯歸屬函數	35
圖 4-3 利用 Derivative-based 最佳化搜尋法求得的 θ_3 高斯歸屬函數	36
圖 5-1 實測風速隨颱風距目標點距離變化關係圖	44
圖 5-2 實測風速的位置參數的空間資訊分布圖	44
圖 5-3 ANN-W 模式學習結果 Q-Q 圖	45
圖 5-4 颱風波高的位置參數的空間資訊分布圖	46
圖 5-5 不同模式的推算學習組波高與實測值之比較	52
圖 5-6 4 種模式推算海燕颱風(2001)波高的比較與其路徑	54
圖 5-7 4 種模式推算利奇馬颱風(2001)波高的比較與其路徑	55
圖 5-8 4 種模式推算柯吉拉颱風(2003)波高的比較與其路徑	56

圖 5-9 4 種模式推算珊珊颱風(2006)波高的比較與其路徑	57
圖 5-10 4 種模式推算杜鵑颱風(2006)波高的比較與其路徑	58
圖 5-11 4 種模式推算敏督利颱風(2004)波高的比較與其路徑	59
圖 5-12 以 ANN-B 推算波高峰值的差異分析	60
圖 5-13 以 ANN-M 模式推算波高峰值的差異分析	60
圖 5-14 以 ANN-V 模式推算波高峰值的差異分析	61
圖 5-15 以 ANN-P 模式推算波高峰值的差異分析.....	61



表目錄

表 2-1 侵臺颱風之最大示性波高與路徑.....	11
續表 2-1 侵臺颱風之最大示性波高與路徑.....	12
表 2-2 對應侵臺颱風的最大風速場與路徑.....	12
表 2-3 選擇的颱風名稱、最大波高與路徑.....	15
表 2-4 依颱風路徑分群的三類颱風.....	17
表 2-5 依最大示性波高大小排序之合併分類結果.....	19
表 2-6 選擇模式建立的 LVT 資料的颱風.....	20
表 3-1 表列的四個最大風速半徑公式.....	21
表 3-2 四個颱風風場模型公式列表.....	29
表 3-3 以不同風場模式及 R_m 計算公式所得的局部風速兩指標比較	31
表 4-1 表列 ANN-B 與 ANN-M 模式的輸入參數.....	37
表 4-2 以 ANN-B 模式推算颱風波浪的評估指標.....	38
表 4-3 以 ANN-M 模式推算颱風波浪的評估指標.....	40
表 4-4 比較 ANN-B 與 ANN-M 模式的學習組評估指標.....	41
表 4-5 比較 ANN-B 與 ANN-M 模式的驗證組評估指標.....	41
表 5-1 表列 ANN-V 與 ANN-P 模式的輸入參數.....	47
表 5-2 以 ANN-V 模式推算颱風波浪的評估指標.....	48
表 5-3 以 ANN-P 模式推算颱風波浪的評估指標.....	49
表 5-4 比較 ANN-V 與 ANN-P 模式的學習組評估指標.....	50
表 5-5 比較 ANN-V 與 ANN-P 模式的驗證組評估指標.....	50
表 5-6 四種模式推算結果比較.....	53



第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

臺灣位於西北太平洋颱風主要活動範圍，此區域平均每年生成 27 個颱風，多數發生時間於 7、8、9 三個月份；近十年內，平均每年有 4 個颱風會侵襲臺灣。西北太平洋的颱風主要受太平洋副熱帶高氣壓環流所導引，其路徑多以偏向西行，到達臺灣或菲律賓附近時，因已到達太平洋副熱帶高氣壓邊緣區，其路徑才會有所變化。因受到不同的高氣壓影響，有些颱風會繼續向西行，有些會轉往東北方向，甚至有些會在附近打轉或停滯，另外有部分來自南中國海域，平均來看此種路徑的颱風規模較弱。此類型的颱風向西行至越南或往中國登陸，或向東北行至臺灣海峽。

颱風所帶來的強烈暴風吹拂海面會產生具有較大波高的波浪，這種波浪具有相當大的能量。當波浪傳遞至近岸地區時，會因淺化效應使得波高增加，不僅影響到漁撈、航運安全，也會使沿岸海工結構物及造成臨海低窪區域溢淹與人員傷亡。

參考由氣象局科技中心所統計出 2007 年至 2011 年臺灣因氣象因素導致農業、漁業、水利、鐵路、公路、港務及電力七種高害損失的統計結果，如圖 1-1 所示。

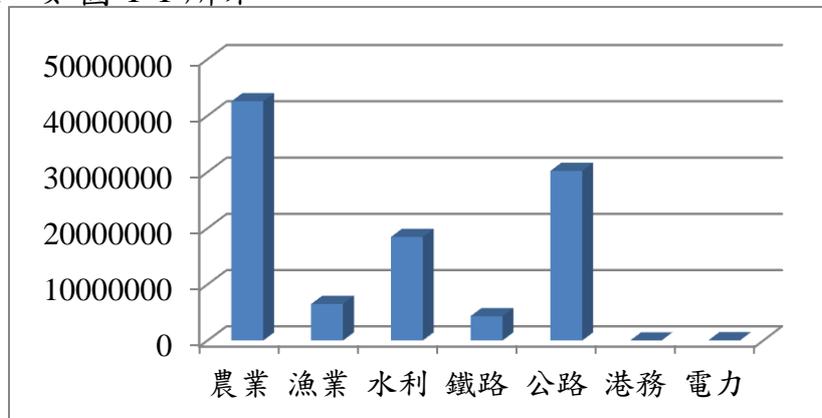


圖 1-1 因颱風事件造成七種高害損失的長條統計圖(金額:新台幣仟元)

可由圖 1-1 看出臺灣的農業損失受颱風影響最大，4 年約 400 億元。四年約 300 億元的公路損失為第二大的災害，。第三為水利相關設施的災害損失，四年約 200 億元；而漁業及港務部分，四年損失約為 100 億元，都是相當大的數目。

為降低財產及人員傷亡，因此探討颱風風場與波浪的傳遞機制，目的要發展出即時的颱風波浪推算與預報模式，藉由即時的颱風波浪預報，可以提供颱風來襲前，海域的波浪特性，作為沿岸居民經濟活動的安全預警，並降低國土環境所造成的災害。本研究以臺北港海域為研究基地，主要原因是臺北港為國內新建設的重要國際商港且有長期的外海波浪與風速觀測資料，此充足資料是建構模式時所必須的條件。

過去利用統計及經驗為基礎的參數經驗模式，雖擁有快速、簡便的推算能力，但臺灣因為有高山阻隔，加上東、西、南、北四個方位的水深地形特性及海象皆不相同，在使用經驗公式作大範圍海域的推算上有其限制。至於數值波浪推算法因為電腦計算能力的提升，加上實測海氣象資料的輔助與校正，其波浪的推算準確性已達到很高的水準，亦可對中、大尺度的海域作計算，但由於數值模式的計算範圍相當大，計算的格網點數目相當的多，需耗費相當多的時間在計算上，雖然計算結果較為精準，卻無法滿足即時的颱風波浪預報模式所需要快速計算的需求。

隨著電腦軟體工具技術的提升，目前已有工具能有效地描述許多物理現象中非線性的問題，如類神經網路、模糊系統、遺傳演算法及混合型網路系統等。類神經網路具有學習演算及非線性最佳化之優點，且容易適應新的資料，即使輸出與輸入參數之間的關係相當複雜，仍然比一般傳統之統計迴歸方法較佳。

在兼顧計算精度與計算速度兩項目標下，本研究選擇類神經網路

模式來建構出具有描述區域特性的颱風波浪推算模式。期望本颱風波浪推算模式能提供在沿海、臨海防災、海上活動及航運上即時且精確的波浪預報。

1-2 文獻回顧

風能為波浪能量交互作用的主要因素之一，因此颱風波浪推算主要影響度由颱風風場提供，而颱風風場資料的來源除了經過實際量測資料配合計算推估風場分佈的方法外，還有較複雜的數值風場模擬模式以及簡易參數形式的颱風風場推算模式。

1-2-1 數值模式或參數化經驗模式

颱風風場模式的描述也可以利用複雜的大氣數值模式 (Atmospheric models)，中央氣象局使用的作業模式有全球模式、區域模式、Typhoon 預報模式、MM5，歐洲的中長期大氣預報採用 ECMWF 模式，美國國家海洋及大氣管理局(NOAA)採用 RSM Model，大氣數值模式的運作資料來自於大氣各種參數的現況，配合實際的地理、地形條件，利用大量的數值運算模擬氣候，進一步推算各個高程的壓力、溫度、風速等以發展達到預報的目的。而大氣數值模式所應用的大多是以中尺度與大尺度的氣候預報，當大氣模式應用在不同的區域預報時須先經過複雜的調整與校正係數與參數。

而操作簡易且推算快速的參數化颱風風場模式中，目前較為常用的有 Rankine Vortex Model(簡稱：RVM)、Modify Rankine Vortex Model(簡稱：MRVM)、Sea, Lake and Overland Surge from Hurricane Wind Model(簡稱：SLOSH)以及 Modify Holland Wind Model(簡稱：MH)。

數值波浪推算模式目前臺灣的颱風風場波浪推算預報是採用示性波參數經驗模式，如 Bretschneider (1976)，或是採用能量平衡方程

式為基礎的數值運算，進行大區域的波浪推算與預報，如 SWAMP (1985)、WAM (1988)、Young (1988a)、SWAN (Booij 等人，1996)、WW3 (Tolman，1997) 等。

而參數化波高推算方法有 Francis Beaufort(1805)提出的蒲福式風級對應波高方法、Bretschneider & Tamage (1976)基於 SMB 方法 (Sverdrup and Munk, 1947)提出的颱風波浪推算法、Rodolof (2002)提出的 Rodolof 法，梁 (2010)提出的梁颱風湧浪推算法...等。

1-2-2 類神經網路

不論是參數形式的經驗公式或是數值計算模式，在考量特殊颱風行為以及對於推算的誤差都必須對參數或是模式作適當的修正，又因為大部分推算誤差的產生不具規則性，影響因素也不易有效分離或解析，所以推算模式修正的過程往往相當複雜，效果也相當有限。

在海洋工程領域，存在著許多無法完全解析的現象。理論模式的發展，限制了真實環境的複雜性與非線性狀況，使得研究發展上會遭受到許多限制。在類神經網路的技術輔助下，對非線性系統、黑盒系統的模擬提供了新的探索及研究方法。目前類神經網路應用於波浪預測、水位計算、颱風預測分析等成果皆有令人滿意的。

類神經網路應用於波浪計算包括：Deo and Shidhar Naidu (1999)，Deo and Kiran Kumar (2000)，Deo et al. (2001)，Deo et al. (2002)，Agrawal and Deo (2002)，Deo and Jagdale (2003)，Makarynsky (2004)。利用固定區域內的單一或是數個觀測站實測的波浪資料做為類神經網路波浪模式模擬的目標，以達到模式具有波浪預測與波浪資料補遺的能力。

錢等人(2006)，結合類神經網路、模糊規則及複合型轉換函數，建構出模糊-混合型類神經颱風波浪推算模式。林(2011)所提的結合歸

屬函數之類神經網路颱風波浪推算模式，因輸入因子中的角度參數與波高關係不佳，作者將角度參數經由雙峰高斯函數轉換成影響度參數，再輸入類神經網路藉此提升其學習及推算精度。

由於類神經網路可以藉由足夠的學習資料，連續的學習方式建構邏輯或是經驗法則，因此大氣環境與颱風間複雜的作用關係，可以藉由已知的經驗或規則配合學習的資料提高類神經網路模式的準確性。

1-3 文章架構

本文使用類神經網路方法，建構颱風波浪推算模式。並依照六個章節說明颱風之分組、模式建構過程與推算結果探討。

第一章為緒論，主要說明研究的動機與研究目的及文獻回顧。

第二章為選擇研究臺北港區域的介紹包含測站位置、測站的量測儀器...等、颱風資料來源，其取自於日本國土交通省氣象廳(JMA)的RSMC-Tokyo Center 颱風氣象資料、所蒐集來的颱風資料、測站資料進行篩選與資料分組的介紹。

第三章說明，參數化風場模型的探討。四個風速計算公式皆需要有最大風速半徑的資料，因此參數實測方式複雜，為了達到操作上方便且計算快速...等需求，利用幾位學者所提出的經驗回歸公式，進行最大風速半徑的估算，進而帶入風場模型可推算出局部風速。因為蒐集到最大風速半徑之實測資料，本研究以颱風特性及蒐集到由港研中心提供之 21 侵臺颱風之實測風速做比對，最後選出最適當最大風速半徑公式及風場模型公式。

第四章則討論建立類神經颱風波浪推算模式所選用的輸入參數，並將其分成角度參數未轉換及經由歸屬函數轉換後、利用相同模式設定條件及訓練條件建構出 ANN-B 及 ANN-M 兩個模式並以檢定指標來探

討其學習與驗證成果。

第五章則說明，由參數化颱風風場模型所得的計算風速須先經過篩選或改正，並加入颱風中心與目標點距離及將新的波高與颱風位置參數等當作輸入參數後，建構出 ANN-V 及 ANN-P 兩個颱風波浪推算並以檢定指標來探討其學習與驗證成果，最後比較四個模式。

第六章則為本文的總結，內容為結論與建議。本研究流程如圖 1-2。

1-4 模式建構流程圖

模式建構流程圖如圖 1-3 所示，首先蒐集台北港時測風速及實測波高資料與 JMA 颱風資料。下一步選用合適的 33 場颱風及將選用的颱風分組。下一步針對不同模式選用不同的類神經網路輸入參數，分別為角度參數未修正、角度參數經高斯函數修正、風速改正加入波高與颱風位置空間資訊參數...等參數計算完畢後，建立四個類神經網路颱風波浪推算模式，最後再驗證模式比較四個模式的結果。

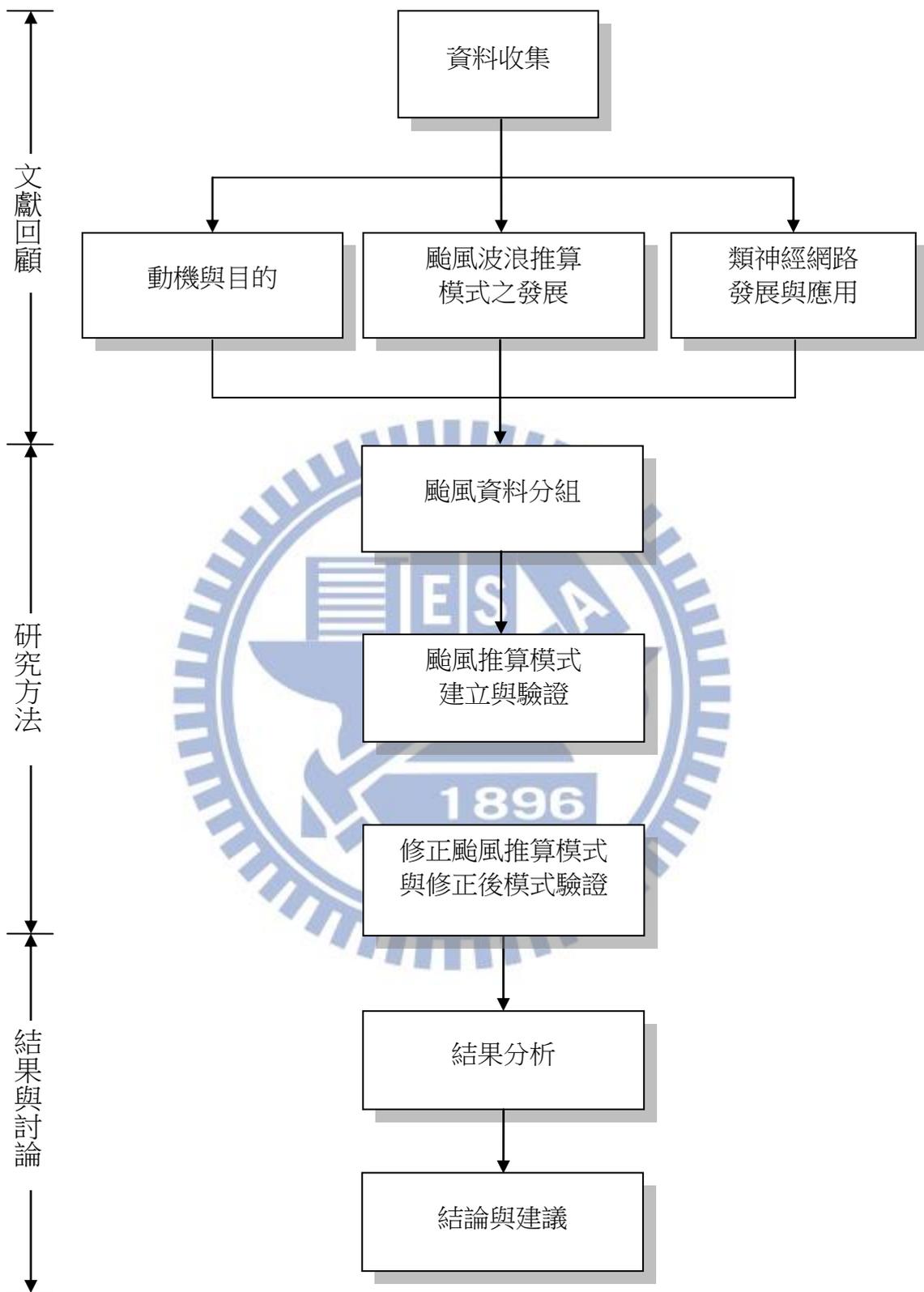


圖 1-2 研究流程圖

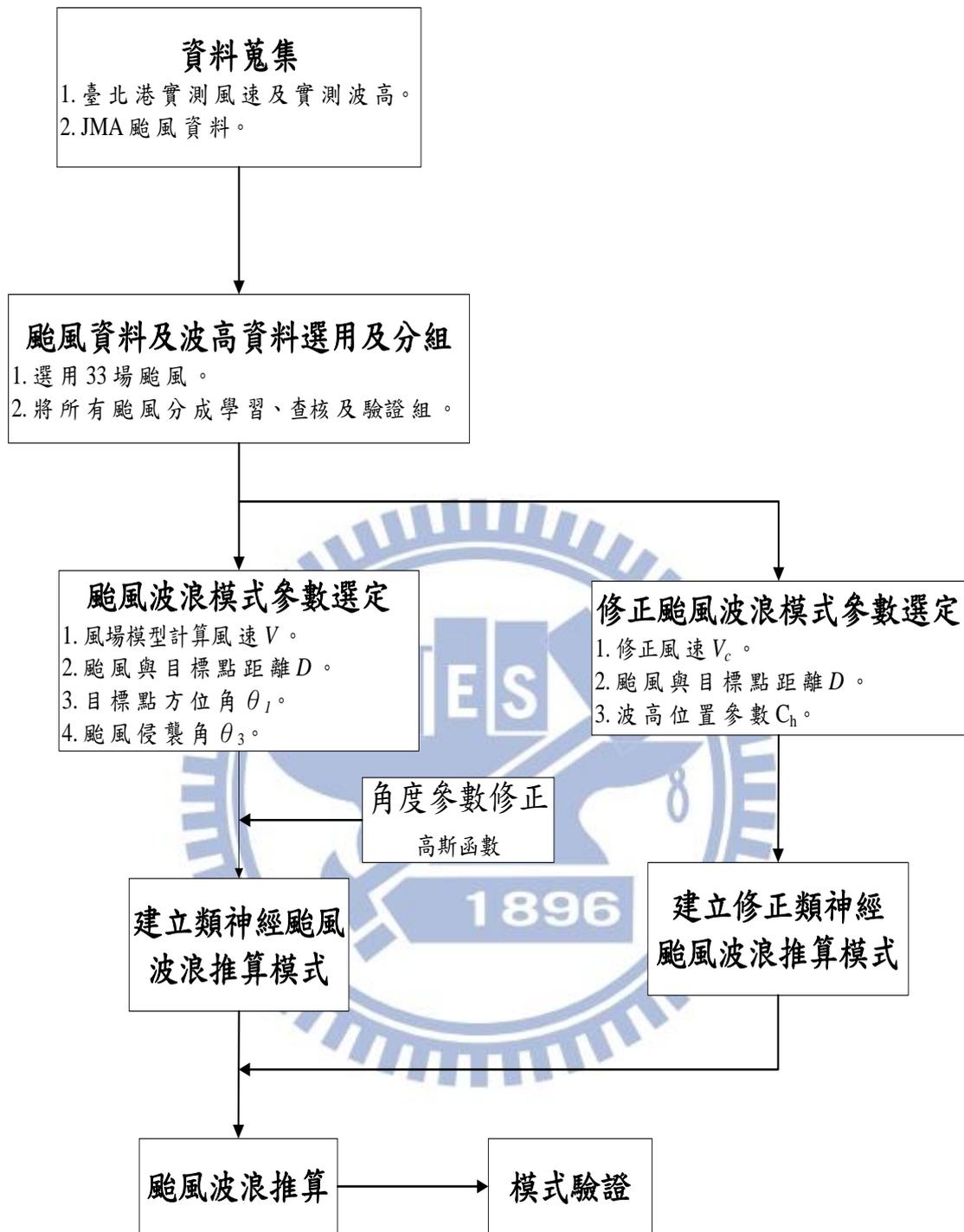


圖 1-3 模式建構的流程圖

第二章 颱風風速與波浪的資料分析

2-1 風速及波浪資料基本分析

探討風浪機制，風速常採用海面 10 m 上空風速，而在臺灣地區僅有臺北港及安平港具有此類型的量測儀器，因此選擇探討臺北港的風與浪關係是否更明顯。本研究所使用的臺北港實測波高資料及實測風速資料，是由交通部運輸研究所港灣技術研究中心提供。港灣技術研究中心於 1996 年受基隆港務局委託辦理「淡水國內商港漂砂調查暨海象與海岸地形變遷監測計畫」，於淡水河口南岸水深 15 m 處打射海上觀測樁，測站位置為 $25^{\circ}10'14''\text{N}$ ， $121^{\circ}22'41''\text{E}$ ，並於水下深度 5 m 及 10 m 兩處裝設潮波流儀 Seapac2160 Directional Wave 和 Tide & Current Meter 觀測波浪、潮位與海流，並於 1999 年 7 月購置 S-4 ADW 投入觀測作業取代原 Seapac2160。由於舊觀測樁傾斜嚴重，2004 年 12 月於 $25^{\circ}10'54''\text{N}$ ， $121^{\circ}22'32''\text{E}$ 更換新觀測樁，並於 2008 年增購另一海氣象即時觀測系統挪威 AWAC 方向性潮波流儀，具備可測得逐時波浪、分層流向流速、水位值之功能。本文採用 2004 年新設置的觀測樁，其觀測樁位置如圖 2-1 所示。

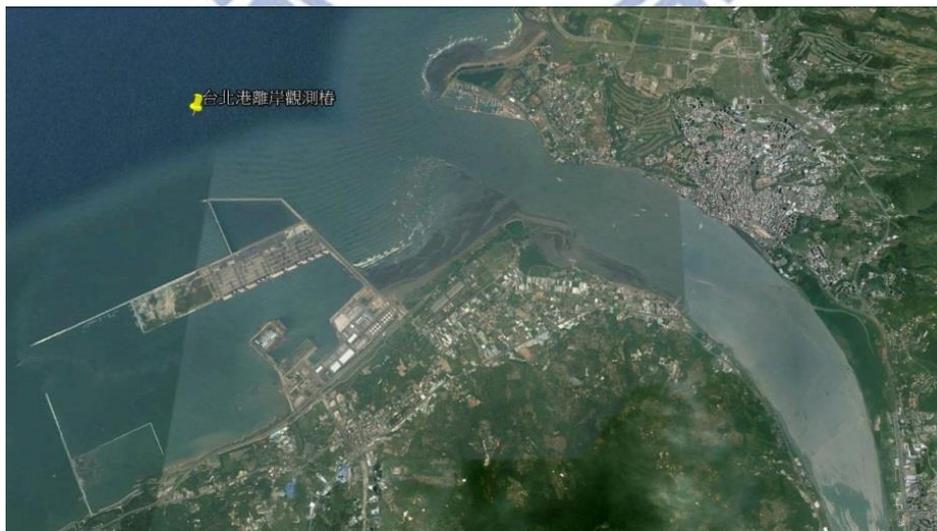


圖 2-1 臺北港離岸觀測樁位置圖

本研究選取 H_s (示性波高)作為實測波高資料,即以波群中依照大小排序,取前 1/3 大的個別波之波高平均值來代表波浪的大小,其在統計特性上,具安定性且較能反映波浪所含之能量大小,是最常使用的代表波(郭, 2001),風速部分選用臺北港測站的實測平均風速。

颱風資料取自日本國土交通省氣象廳(JMA)的 RSMC-Tokyo Center 颱風氣象資料,由於 JMA 資料為免費對外公開,因此使用 JMA 的颱風資料來作為我的後續所需參數的計算資料。資料的內容包含颱風名稱、發生時間與路徑,皆採用 RSMC-Tokyo Center 發佈的資料為準,因時間格式須以臺灣的所在時區為準,所以時區部分須調整成臺灣時區。RSMC-Tokyo Center 所發佈之颱風資料為每 6 小時一筆,而港灣技術研究中心之波浪資料與實測風速資料皆為每 1 小時一筆,為配合波浪資料之時間間距,本研究將 JMA 發布的颱風氣象資料(經緯度、中心氣壓、近中心最大風速),利用三次多項式內插,將其時間間距內插為 1 小時一筆。再依據中央氣象局(CWB)所公佈之侵臺颱風列表,挑選合適的颱風作為模式的建立與驗證之用。

中央氣象局公佈之 2000 年至 2013 年侵臺颱風共有 86 場,擁有實測風速所對應的颱風場次共有 21 場。考慮每場颱風對應資料之完整性及相關性,因實測風速的樣本數過少,本研究在建立類神經網路颱風風速推算模式時,採用全部颱風共 21 場來進行建立類神經網路颱風風速推算模式。類神經網路颱風波浪推算模式的部分選用 86 場來進行資料分析,針對這些颱風評估是否適合模式之學習與驗證,表 2-1 及續表 2-1 為中央氣象局公布侵臺颱風之最大示性波高與路徑列表。表 2-2 為由港研中心提供最大風速對應侵臺颱風場次資料列表。

表 2-1 侵臺颱風之最大示性波高與路徑

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大示性波高(m)	路徑分類	年份	颱風名稱	颱風名稱	最大示性波高(m)	路徑分類
2000	KAI_TAK	啟德	0.62	6	2004	CONSON	康森	1.56	--
2000	BILIS	碧利斯	1.74	3	2004	MINDULLE	敏督利	2.61	6
2000	PRAPIROON	巴比倫	2.67	6	2004	KOMPASU	康柏斯	0.95	--
2000	BOPHA	寶發	4.27	--	2004	RANANIM	蘭寧	3.29	--
2000	YAGI	雅吉	0.88	--	2004	AERE	艾利	6.11	1
2000	XANGSANE	象神	0.99	6	2004	HAIMA	海馬	3.51	6
2000	BEBINCA	貝碧佳	1.10	--	2004	MEARI	米雷	0.37	--
2001	CIMARON	西馬隆	2.43	8	2004	NOCK_TEN	納坦	0.76	6
2001	CHEBI	奇比	1.34	7	2004	NANMADOL	南瑪都	3.1	9
2001	UTOR	尤特	1.33	5	2005	HAITANG	海棠	4.01	3
2001	TRAMI	潭美	0.53	4	2005	MATSA	馬莎	5.03	1
2001	YUTU	玉兔	0.68	--	2005	SANVU	珊瑚	2.69	--
2001	TORAJI	桃芝	0.78	3	2005	TALIM	泰利	4.08	3
2001	NARI	納莉	4.55	--	2005	KHANUN	卡努	3.19	--
2001	LEKIMA	利奇馬	3.32	4	2005	DAMREY	丹瑞	1.65	--
2001	HAIYAN	海燕	6.54	--	2005	LONGWONG	龍王	2.95	3
2002	RAMMASUN	雷馬遜	2.21	--	2006	CHANCHU	珍珠	2.11	9
2002	NAKRI	娜克莉	1.10	9	2006	EWINIAR	艾維尼	1.81	--
2002	SINLAKU	辛樂克	3.45	1	2006	BILIS	碧利斯	2.91	2
2003	KUJIRA	柯吉拉	1.95	--	2006	KAEMI	凱米	1.08	3
2003	NANGKA	南卡	1.40	--	2006	SAOMI	桑美	1.88	--
2003	SOUDELOR	蘇迪勒	1.72	--	2006	BOPHA	寶發	1.88	4
2003	IMBUDO	伊布都	1.30	--	2006	SHANSHAN	珊珊	3.83	--
2003	MORAKOT	莫拉克	0.46	4	2007	PABUK	帕布	1.23	4
2003	VAMCO	梵高	0.55	--	2007	WUTIP	梧提	0.93	3
2003	KROVANH	柯羅旺	1.15	--	2007	SEPAT	聖帕	1.23	3
2003	DUJUAN	杜鵑	1.21	5	2007	WIPHA	韋帕	4.13	1
2003	MELOR	米勒	2.63	8	2007	KROSA	柯羅莎	0.74	2

續表 2-1 侵臺颱風之最大示性波高與路徑

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大示性波高 (m)	路徑分類	年份	颱風名稱	颱風名稱	最大示性波高 (m)	路徑分類
2007	MITAG	米塔	0.58	--	2011	AERE	艾利	1.87	--
2008	KALMAEGI	卡玫基	2.2	2	2011	SONGDA	桑達	3.68	--
2008	FUNG_WONG	鳳凰	2.58	3	2011	MEARI	米雷	3.29	--
2008	NURI	如麗	1.7	--	2011	MUIFA	梅花	2.07	--
2008	SINLAKU	辛樂克	3.83	2	2011	NANMADOL	南瑪都	1.75	4
2008	HAGUPIT	哈格比	0.84	--	2012	TALIM	泰利	3.02	9
2008	JANGMI	薔蜜	4.07	2	2012	DOKSURI	杜蘇芮	0.71	--
2009	LINFA	蓮花	2.66	9	2012	SAOLA	蘇拉	3.75	2
2009	MORAKOT	莫拉克	4.19	3	2012	HAIKUI	海葵	2.6	--
2009	PARMA	芭瑪	3.22	--	2012	KAI_TAK	啟德	0.74	--
2010	LIONROCK	萊羅克	2.22	9	2012	TEMBIN	天秤	2.4	特殊
2010	NAMTHEUN	南修	2.12	--	2013	SOULIK	蘇力	6.94	2
2010	MERANTI	莫蘭蒂	1.65	--	2013	CIMARON	西馬隆	5.99	--
2010	FANAPI	凡那比	3.08	4	2013	KONG_REY	康芮	1.98	6
2010	MEGI	梅姬	4.17	9					

表 2-2 對應侵臺颱風的最大風速場與路徑

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大風速 (m/s)	路徑分類	年份	颱風名稱	颱風名稱	最大風速 (m/s)	路徑分類
2000	PRAPIROON	巴比倫	9.56	6	2011	NANMADOL	南瑪都	17.61	4
2001	NARI	納莉	22.07	--	2012	TALIM	泰利	17.86	9
2002	RAMMASUN	雷馬遜	18.61	--	2012	DOKSURI	杜蘇芮	17.31	--
2002	SINLAKU	辛樂克	17.98	1	2012	SAOLA	蘇拉	22.69	2
2004	MINDULLE	敏督利	8.00	6	2012	HAIKUI	海葵	14.20	--
2004	RANANIM	蘭寧	9.10	--	2012	KAI_TAK	啟德	14.77	--
2010	FANAPI	凡那比	24.27	4	2012	TEMBIN	天秤	14.71	特殊
2010	MEGI	梅姬	19.34	9	2013	SOULIK	蘇力	38.53	2
2011	AERE	艾利	15.49	--	2013	CIMARON	西馬隆	23.95	--
2011	SONGDA	桑達	16.71	--	2013	KONG_REY	康芮	20.32	6
2011	MEARI	米雷	20.09	--					

表 2-1 及續表 2-1 中，86 場颱風對臺北港有影響的 59 場颱風最大示性波高未達 3m；小於 2m 的有 42 場；小於 1m 的有 18 場。對臺北港而言，其位置位於臺灣西北側的海岸，會受到每年 10、11、12 月之冬季東北季風影響，最大示性波高值 3m 以上的颱風，並非是由颱風主導所造成的波浪，可能為季節風所造成。在選用模式適合之颱風時，需同時考慮到颱風行徑的路徑，如果颱風是由臺灣東北部往西部的路徑，及未直接撞擊中央山脈此種颱風受地形影響因素較小，但是颱風路徑是由臺灣南部向北部的此種類型，結構容易受到中央山脈阻擋而造成結構鬆散，經過臺北港的颱風會處於一個較弱的狀態，而颱風對臺北港會較無影響力。表 2-2 中為建構類神經網路颱風風速推算模式的颱風場次，因資料長度不足，將全數場次皆採用。

表 2-1 及續表 2-1 的 86 場颱風，其最大示性波高未達 3m 的颱風佔了整體的 69%，顯示出有 69% 的颱風，對於臺北港的影響是小的甚至是沒有影響，其原因大部分颱風皆為由東向西進的第 2、3、4、5 路徑，約佔整體颱風的 52%，而直接對臺北港會有影響的第一、九路徑佔了整體颱風的 19%。如圖 2-2 所示從歷年的臺灣地區颱風路徑分類統計圖可發現，第九路徑僅占 7%，而由東向西的第 2、3、4 路徑佔了 33%，由此可見對於模式的建立，地形以及高山的屏障影響，是一個需要考慮的因素。

最大示性波高大於 3m 的部分，對於臺北港有較大影響之 1、2、7、9 路徑的颱風有辛樂克(SINLAKU · 2002)、南瑪都(NANMADOL · 2004)、馬莎(MATSA · 2005)、韋帕(WIPHA · 2007)、辛樂克(SINLAKU · 2008)、米雷(MEARI · 2011)、蘇拉(SAOLA · 2012)，將這 7 場颱風列為適合模式推算的颱風。

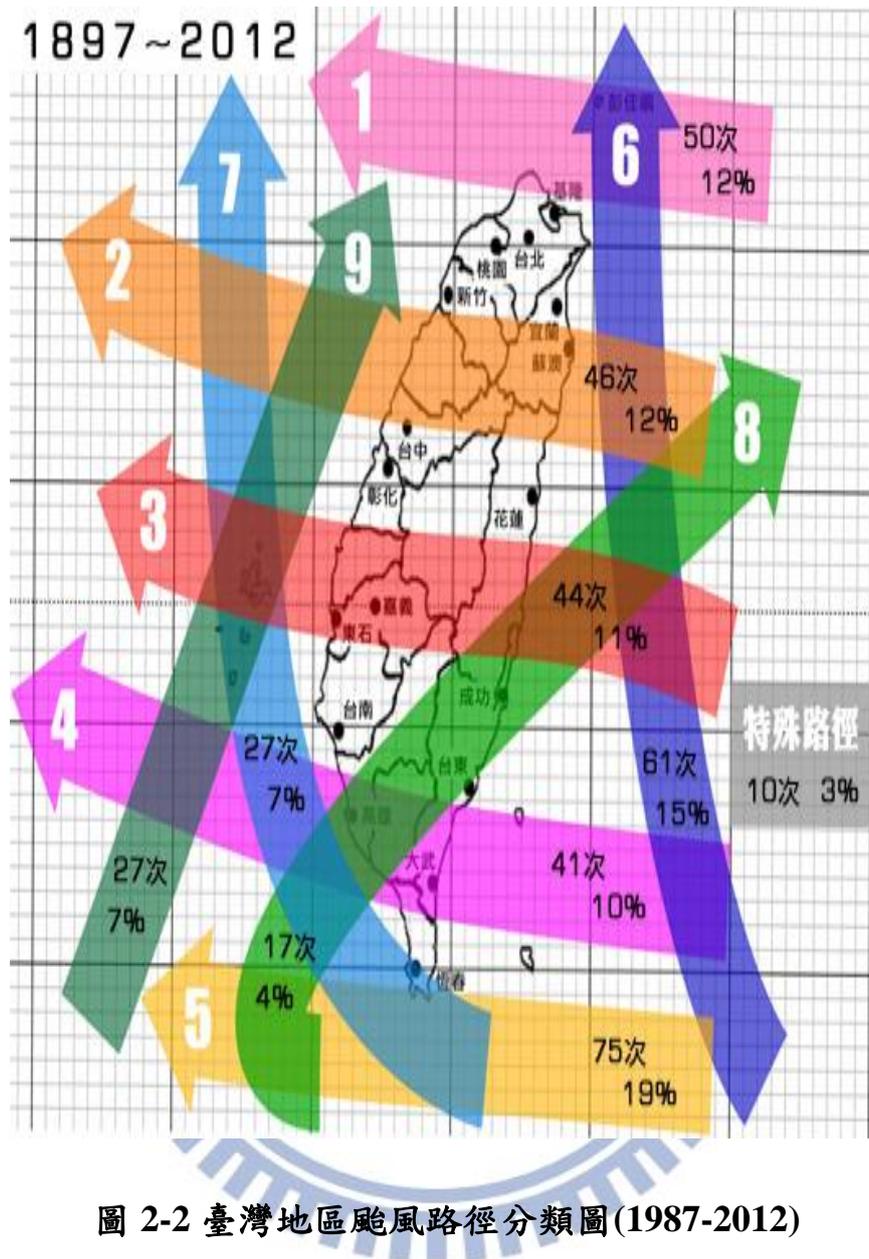


圖 2-2 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2012)

圖 2-2(引自 Typhoon Room)為 1987 年至 2012 年侵台颱風路徑的統計圖。本研究以人工方式考量，1.利用日本情報研究所製作颱風在 google map 的移動路徑，先以颱風之暴風範圍是否有直接影響臺北港作篩選、2.由颱風行經路徑是否受臺灣高山地形影響之原因、3.去除影響較小(波高小於 1.2m)及雙颱風交互影響的颱風後，再依照個路徑均勻選取颱風，盡量讓每個路徑之颱風皆有被選取，最後選取了 33 場颱風進行模式的建立，如表 2-3 所示。

表 2-3 選擇的颱風名稱、最大波高與路徑

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分類
2000	PRAPIROON	巴比倫	2.67	6
2000	BILIS	碧利斯	1.74	3
2001	HAIYAN	海燕	6.54	--
2001	NARI	納莉	4.55	4
2001	LEKIMA	利奇馬	3.32	--
2002	RAMMASUN	雷馬遜	2.21	--
2002	SINLAKU	辛樂克	3.45	1
2003	KUJIRA	柯吉拉	1.95	--
2003	SOUDELOR	蘇迪勒	1.72	--
2003	DUJUAN	杜鵑	1.21	5
2003	MELOR	米勒	2.63	8
2004	MINDULLE	敏督利	2.61	6
2004	RANANIM	蘭寧	3.29	--
2004	HAIMA	海馬	3.51	6
2004	NANMADOL	南瑪都	3.10	9
2005	HAITANG	海棠	4.01	3
2005	MATSA	馬莎	5.03	1
2005	TALIM	泰利	4.08	3
2005	KHANUN	卡努	3.19	--
2005	LONGWANG	龍王	2.95	3
2006	BILIS	碧利斯	2.91	2
2006	SAOMAI	桑美	1.88	--
2006	SHANSHAN	珊珊	3.83	--
2007	WIPHA	韋帕	4.13	1
2008	KALMAEGI	卡玫基	2.20	2
2008	FUNG_WONG	鳳凰	2.58	3
2008	SINLAKU	辛樂克	3.83	2
2009	MORAKOT	莫拉克	4.19	3
2010	FANAPI	凡那比	2.94	4
2010	MEGI	梅姬	3.47	9
2011	MEARI	米雷	3.29	--
2012	SAOLA	蘇拉	3.75	2
2012	HAIKUI	海葵	2.60	--

2-2 颱風波浪特性之分組

本研究採用的分組方式為：學習、查核與驗證組(LVT 組)。其中符號 L 為學習(Learning)用資料群；V 為查核(Validation)用資料群；T 為驗證(Test)用資料群。

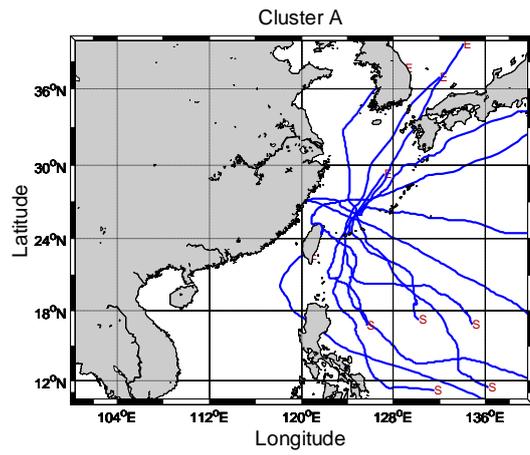
LVT 組分組方式是將資料分為三個部分，1.學習資料群、2.查核資料群、及 3.驗證資料群，隨著訓練次數的增加，模式對於學習資料群的 MSE 會逐漸降低，在訓練的同時輔以查核資料群進行網路的確認，當查核資料群之 MSE 無法因網路的訓練而降低，即停止網路的訓練，透過查核資料群我們可以防止網路的過度學習，也使學習出來的網路對於未學習過的資料適用性更高，訓練結束後可利用驗證資料群進行模式的二次驗證，確認模式的適用性。

不論是將資料分為幾群，皆需要使每個資料群的特性是均勻的，即為類神經網路模式在學習、驗證各個階段所模擬的颱風特性類似，此可提高模式在驗證時的可靠度。

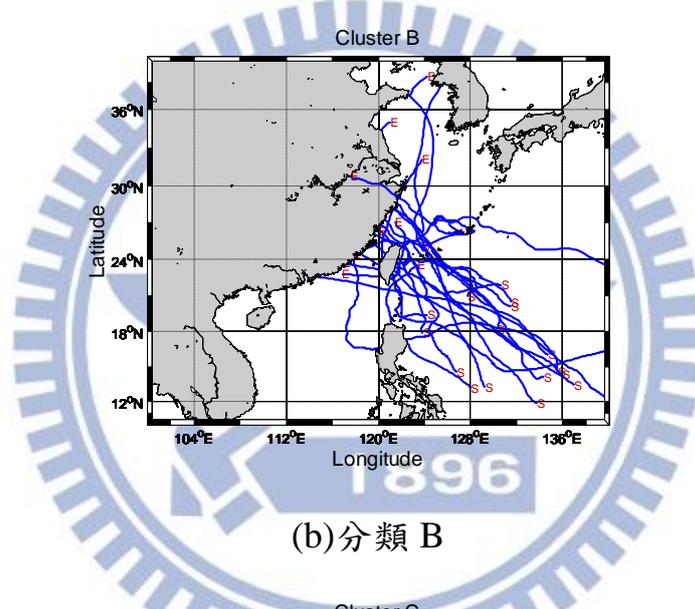
本研究初步的分類方法是依據 Camargo 等人(2007a)所採用的熱帶氣旋分類法 Curve-Aligned Clustering，透過熱帶氣旋在地球表面的路徑來將颱風分類，將表 2-3 颱風依據路徑分成三種特性不同的分類，其分類後的三種路徑圖如圖 2-3 所示。圖 2-3 中的 A 分類為颱風生成於太平洋東側，由臺灣東南方往東北方向行進至日本、B 分類為颱風生成於太平洋東側，由東南方往西北方向行進至大陸，可看出分類 B 的颱風路徑會直接侵襲臺灣、C 分類為颱風生成於太平洋東側，由臺灣東部往西部方向行進至大陸，可看出分類 C 的颱風路徑亦會直接侵襲臺灣。表 2-4 為分三類後的結果列表。除了路徑的特性之外，還需考慮每個颱風所造成的最大波高，本研究將這三組各別依照最大波高由小到大排序，最後將各組合併，結果如表 2-5 所示。

表 2-4 依颱風路徑分群的三類颱風

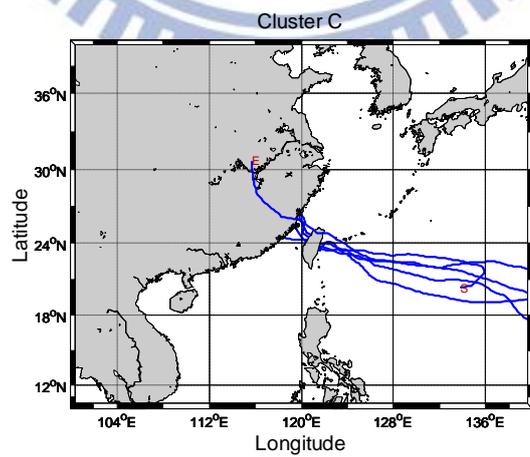
分類 A(9 場)			分類 B(20 場)			分類 C(4 場)		
年份	颱風名稱	最大波高 (m)	年份	颱風名稱	最大波高 (m)	年份	颱風名稱	最大波高 (m)
2001	HAIYAN	6.54	2000	PRAPIROON	2.67	2005	HAITANG	4.01
2002	RAMMASUN	2.21	2000	BILIS	1.74	2005	TALIM	4.08
2002	SINLAKU	3.45	2001	NARI	4.55	2005	LONGWANG	2.95
2003	KUJIRA	1.95	2001	LEKIMA	3.32	2009	MORAKOT	4.19
2003	SOUDELOR	1.72	2003	DUJUAN	1.21			
2004	NANMADOL	3.1	2003	MELOR	2.63			
2006	SAOMAI	1.88	2004	MINDULLE	2.61			
2006	SHANSHAN	3.83	2004	RANANIM	2.21			
2008	SINLAKU	3.83	2004	HAIMA	3.51			
			2005	MATSA	5.03			
			2005	KHANUN	3.19			
			2006	BILIS	2.91			
			2007	WIPHA	4.13			
			2008	KALMAEGI	2.20			
			2008	FUNG_WONG	2.58			
			2010	FANAPI	3.08			
			2010	MEGI	4.17			
			2011	MEARI	3.29			
			2012	SAOLA	3.75			
			2012	HAIKUI	2.60			



(a)分類 A



(b)分類 B



(c)分類 C

圖 2-3 群集分類後的三類颱風路徑

表 2-5 依最大示性波高大小排序之合併分類結果

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)
2003	SOUDELOR	蘇迪勒	1.72
2006	SAOMAI	桑美	1.88
2003	KUJIRA	柯吉拉	1.95
2002	RAMMASUN	雷馬遜	2.21
2004	NANMADOL	南瑪都	3.1
2002	SINLAKU	辛樂克	3.45
2006	SHANSHAN	珊珊	3.83
2008	SINLAKU	辛樂克	3.83
2001	HAIYAN	海燕	6.54
2003	DUJUAN	杜鵑	1.21
2000	BILIS	碧利斯	1.74
2008	KALMAEGI	卡玫基	2.2
2004	RANANIM	蘭寧	2.21
2008	FUNG_WONG	鳳凰	2.58
2012	HAIKUI	海葵	2.6
2004	MINDULLE	敏督利	2.61
2003	MELOR	米勒	2.63
2000	PRAPIROON	巴比倫	2.67
2006	BILIS	碧利斯	2.91
2010	FANAPI	凡那比	3.08
2005	KHANUN	卡努	3.19
2011	MEARI	米雷	3.29
2001	LEKIMA	利奇馬	3.32
2004	HAIMA	海馬	3.51
2012	SAOLA	蘇拉	3.75
2007	WIPHA	韋帕	4.13
2010	MEGI	梅姬	4.17
2001	NARI	納莉	4.55
2005	MATSA	馬莎	5.03
2005	LONGWANG	龍王	2.95
2005	HAITANG	海棠	4.01
2005	TALIM	泰利	4.08
2009	MORAKOT	莫拉克	4.19

學習、查核與驗證組(LVT 組)的資料選取，採用 20 場作為類神經模式學習的學習組，其餘 7 場作為查核類神經模式的查核組，餘下的 6 場則作為類神經模式驗證的驗證組。選取的準則為，從表 2-5 中，先交叉選取奇數列的颱風共 17 場加上剩餘場次每取一場間隔 5 場再選出 3 場共 20 場納入學習組，再將剩餘的 13 場颱風每隔一場颱風選取一次的方式選出 7 場颱風納入查核組，最後剩餘 6 場颱風則納入驗證組，其結果如表 2-6 所示。

表 2-6 選擇模式建立的 LVT 資料的颱風

學習組(20 場)			查核組(7 場)			驗證組(6 場)		
年份	颱風名稱	最大波高 (m)	年份	颱風名稱	最大波高 (m)	年份	颱風名稱	最大波高 (m)
2006	蘇迪勒	1.72	2002	雷馬遜	2.21	2002	辛樂克	3.45
2003	柯吉拉	1.95	2008	辛樂克	3.83	2003	杜鵑	1.21
2004	南瑪都	3.10	2008	卡玫基	2.20	2004	敏督利	2.61
2006	珊珊	3.83	2000	巴比倫	2.67	2010	凡那比	3.08
2001	海燕	6.54	2011	米雷	3.29	2004	海馬	3.51
2000	碧利斯	1.74	2001	納莉	4.55	2005	龍王	2.95
2004	蘭寧	2.21	2005	泰利	4.08			
2012	海葵	2.60						
2003	米勒	2.63						
2006	碧利斯	1.74						
2005	卡努	3.19						
2001	利奇馬	3.32						
2012	蘇拉	3.75						
2010	梅姬	4.17						
2005	馬莎	5.03						
2005	海棠	4.01						
2009	莫拉克	4.19						
2006	桑美	1.88						
2008	鳳凰	2.58						
2007	韋帕	4.13						

第三章 參數化風場模型的評估

3-1 最大風速半徑的探討

在使用參數化颱風風場模型計算局部風速時，需要有一參數為最大風速半徑。此參數測定的方式有以下幾種：1.由偵查飛機來進行量測、2.利用天氣圖量測氣旋中心與系統最大壓力梯度之間的距離、3.透過紅外線衛星圖，量頂部雲層溫度最低的位置至颱風眼中溫度最高位置兩點間的距離、4.利用都卜勒氣象雷達的速度數據來量測龍捲風和靠近海岸熱帶氣旋的最大風速半徑。

此節探討利用回歸公式計算最大風速半徑時，配合最大風速半徑之時序列圖與最大風速半徑隨氣壓變化關係圖來判定何者提出的公式較適合。共整理出 4 個公式，其公式如表 3-1。

表 3-1 表列的四個最大風速半徑公式

學者名稱	公式
G&N(1959)	$R_m = 28.52 \tanh(0.0873(\phi - 28)) + 12.22 / \exp((P_n - P_c) / 33.86) + 0.2V_f + 37.22$
Rodolfo(2002)	$R_m = 0.4785 P_c - 413$
Knaff(2007)	$R_m = 66.785 - 0.09102 V_{max} + 1.0619(\phi - 25)$
Peduzzi(2012)	颱風成長期: $R_m = 2E-5 \exp(0.0143 P_c)$ 颱風成熟期: $R_m = 5E-4 \exp(0.0113 P_c)$ 颱風衰減期: $R_m = 4E-4 \exp(0.0113 P_c)$

上表符號說明： ϕ 為颱風中心所在位置之緯度、 \exp 為自然指數、 P_n 為颱風外圍氣壓，此處假設為一大氣壓約為 1013(hPa)、 P_c 為颱風中心氣壓(hPa)、 V_f 為颱風中心前進速度(m/s)、 V_{max} 為近颱風中心最大風速(m/s)。

由 G&N (1959)提出的最大風速半徑公式考慮的參數較多，包含颱風所在之緯度、颱風暴風外圍氣壓、颱風中心氣壓、颱風前進風速等。

Rodolfo (2002)蒐集 1949-2002 年，採用太平洋 739 場颱風和大西洋 541 場颶風合計共 1280 場，將颱風中心氣壓與最大風速半徑回歸出的關係式，此公式僅考慮颱風中心氣壓。Knaff (2007)提出的最大風速半徑公式考慮的參數有近颱風中心最大風速、颱風所在之緯度，因此公式回歸的颶風處於西方國家其緯度為負值，作者將其緯度取絕對值。Peduzzi (2012)提出的最大風速半徑公式考慮亦僅有颱風中心氣壓，將颱風分成三個階段。當近颱風中心最大風速未達最大值前稱為成長期、近颱風中心最大風速達最大值時則稱為成熟期、而近颱風中心最大風速開始減小時則稱為衰退期。

圖 3-1 至圖 3-5 為以六場颱風為範例，利用四個不同最大風速半徑公式計算最大風速半徑的時序列圖。圖 3-6 至圖 3-10 是以六場颱風為範例，利用四個不同最大風速半徑公式計算最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖。

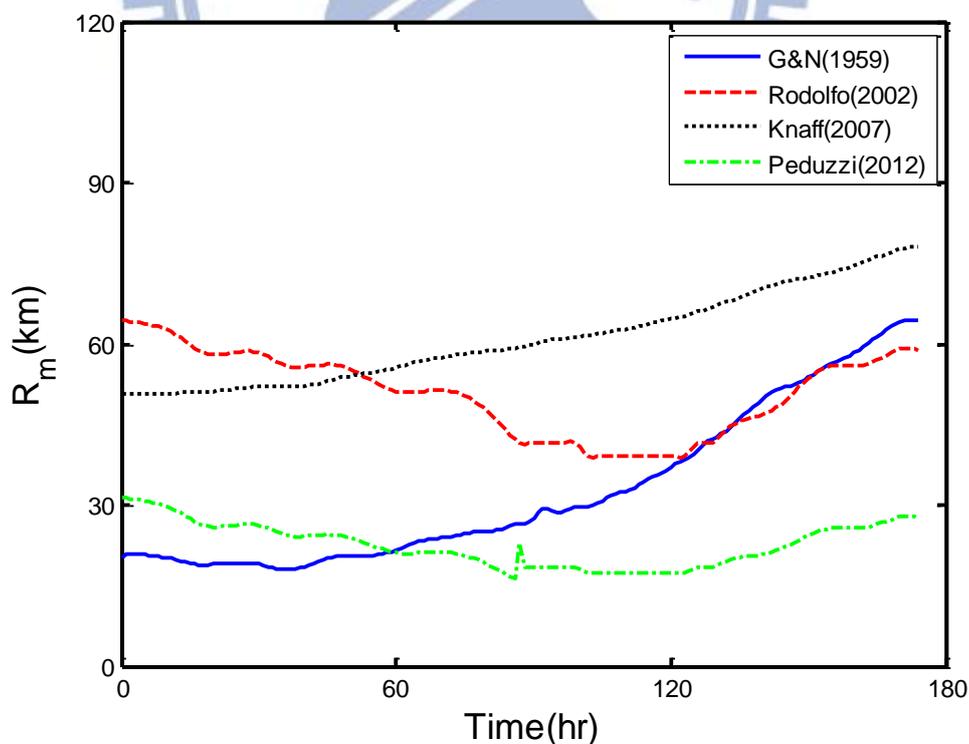


圖 3-1 以不同公式計算雷馬遜颱風(2002)歷時的最大風速半徑

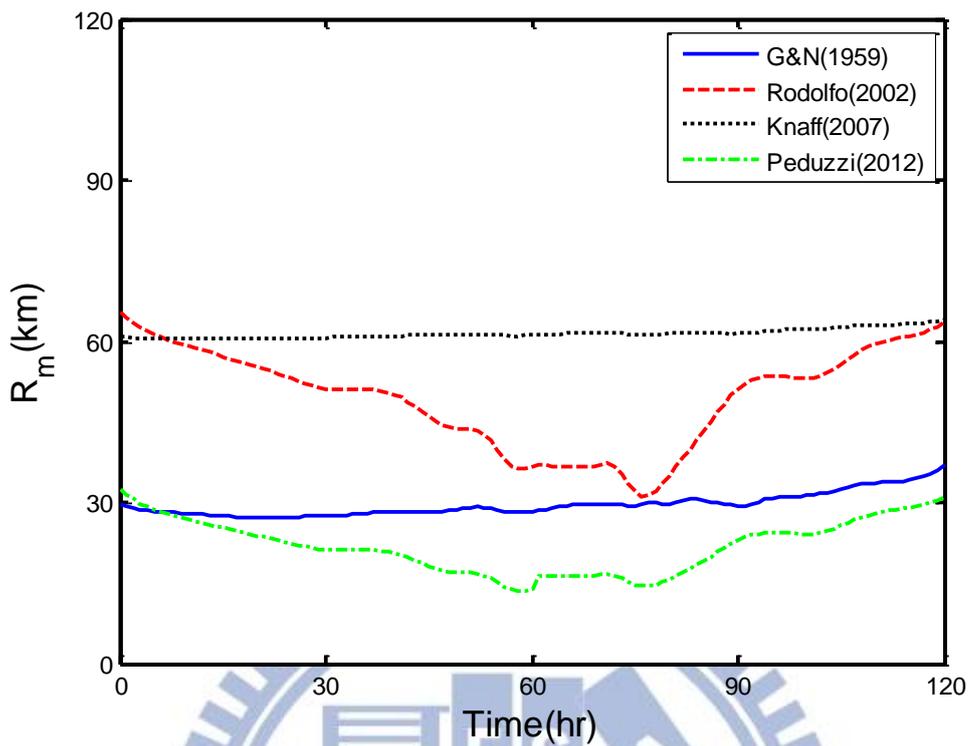


圖 3-2 以不同公式計算凡那比颱風(2010)歷時的最大風速半徑

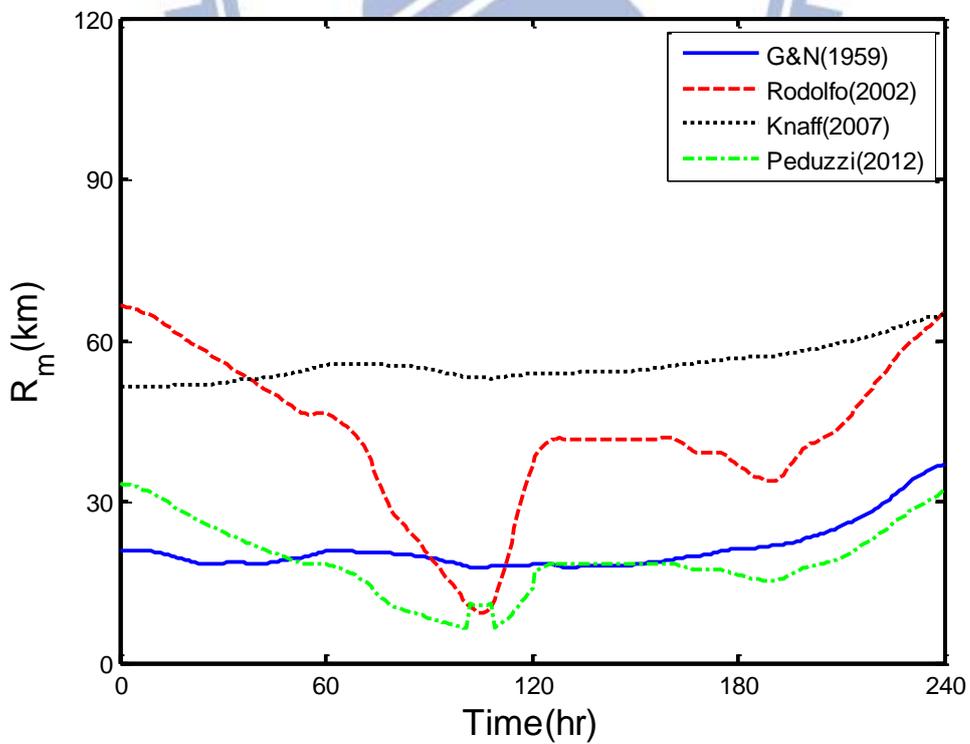


圖 3-3 以不同公式計算梅姬颱風(2010) 歷時的最大風速半徑

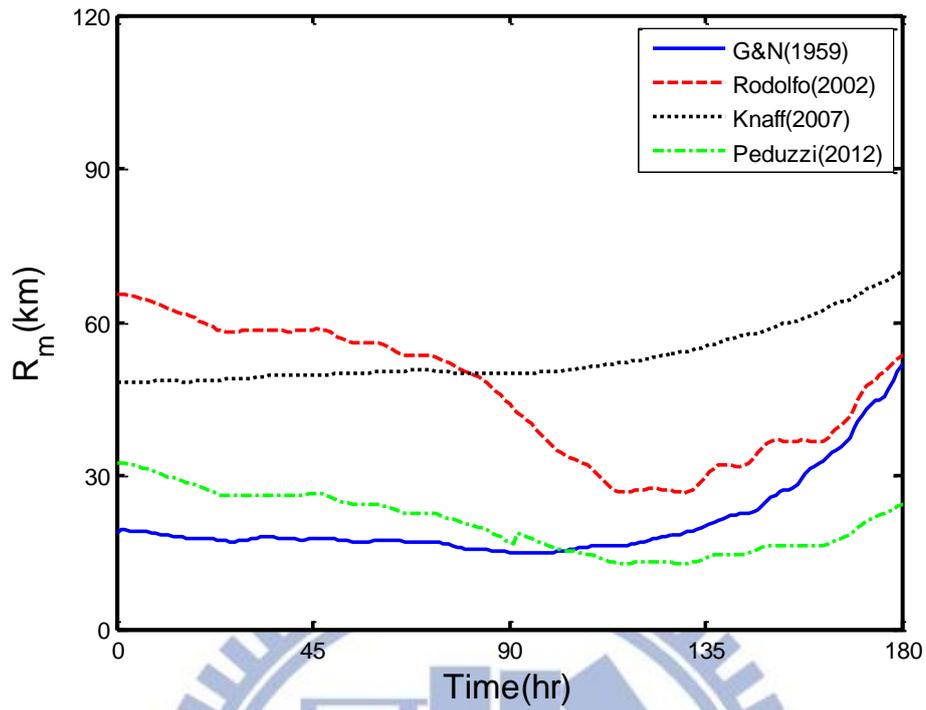


圖 3-4 以不同公式計算桑達颱風(2011) 歷時的最大風速半徑

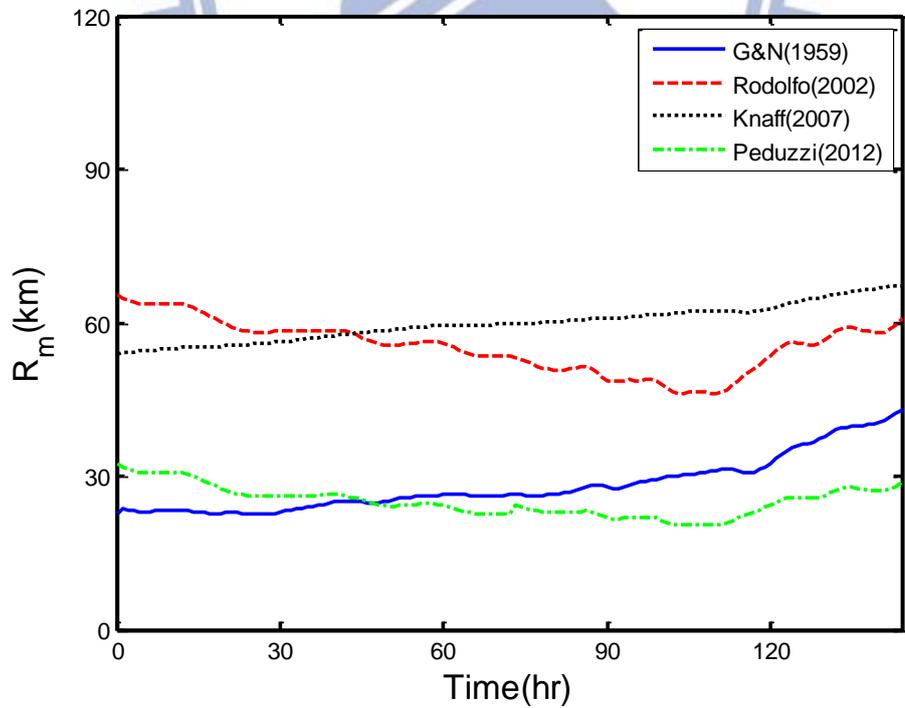


圖 3-5 以不同公式計算蘇拉颱風(2012) 歷時的最大風速半徑

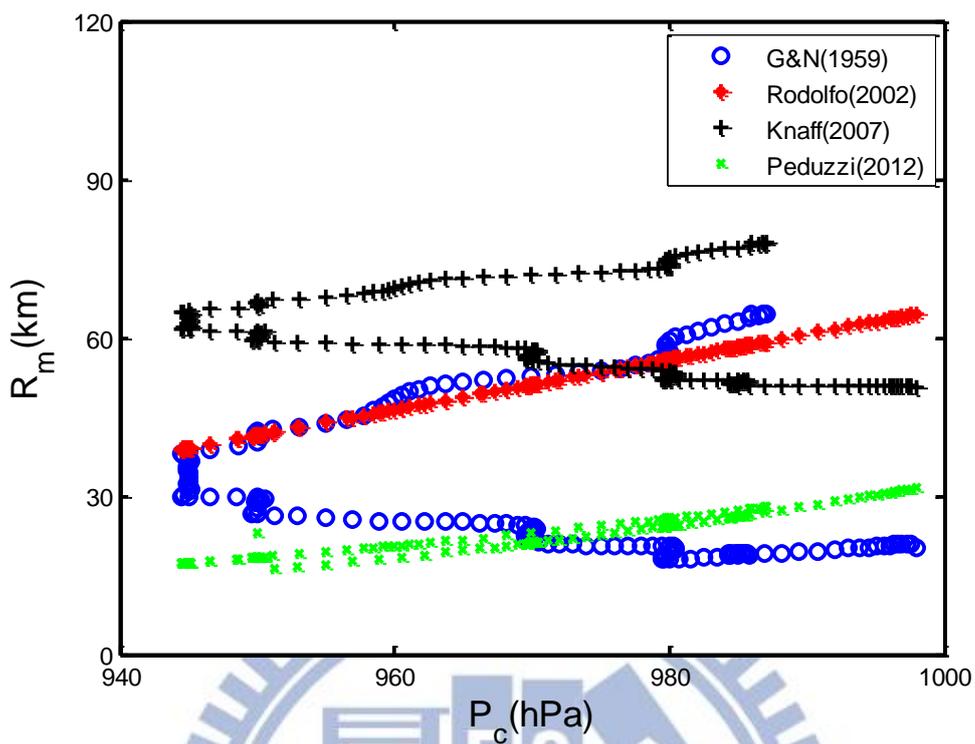


圖 3-6 雷馬遜颱風(2002)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖

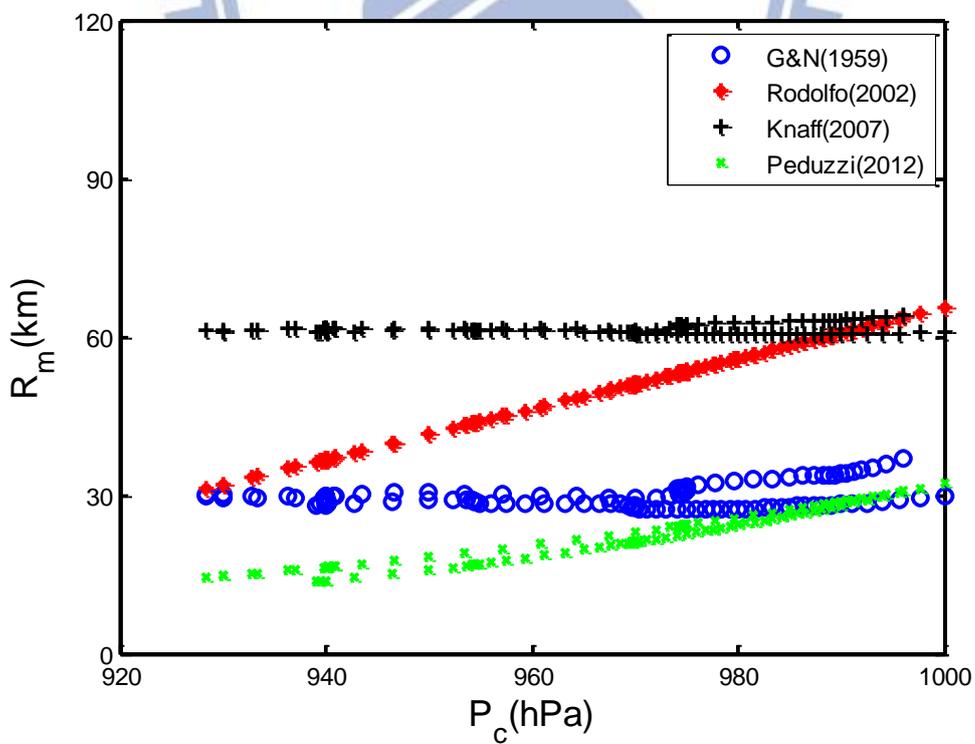


圖 3-7 凡那比颱風(2010)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖

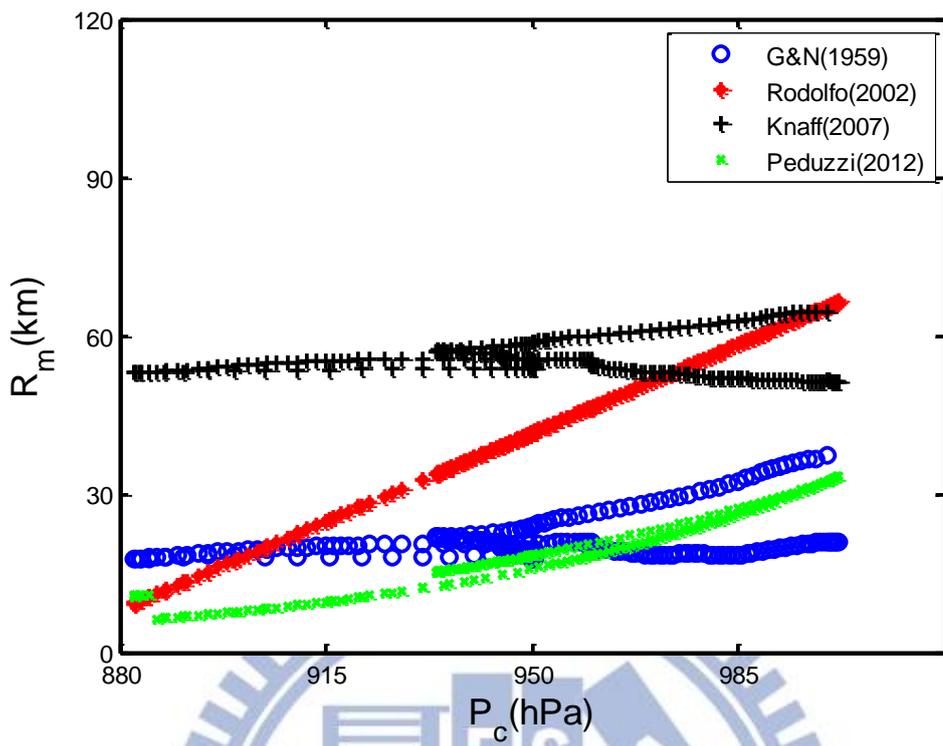


圖 3-8 梅姬颱風(2010)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖

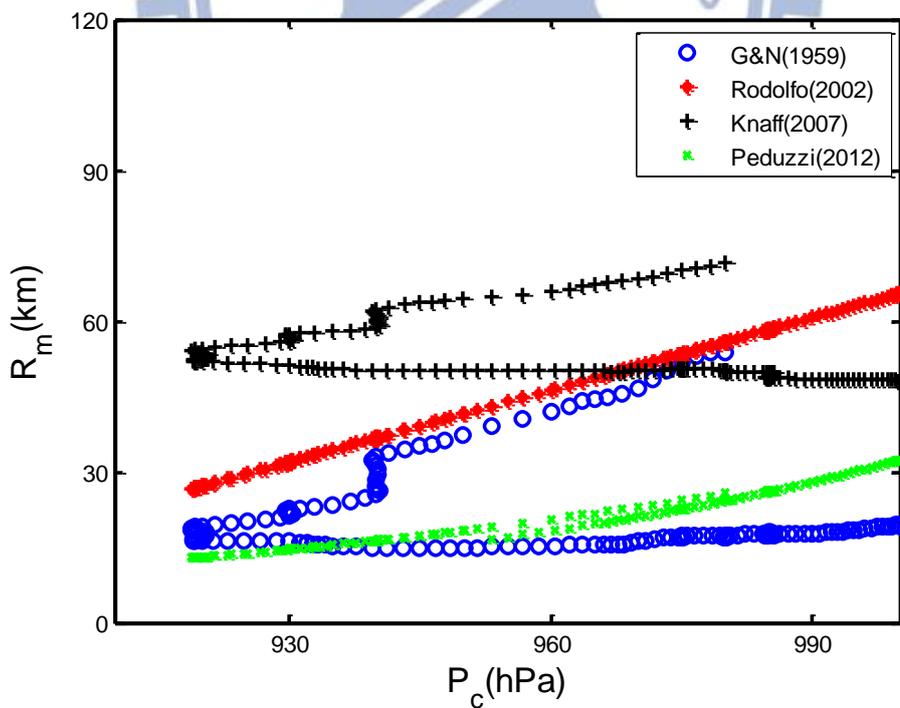


圖 3-9 桑達颱風(2011)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖

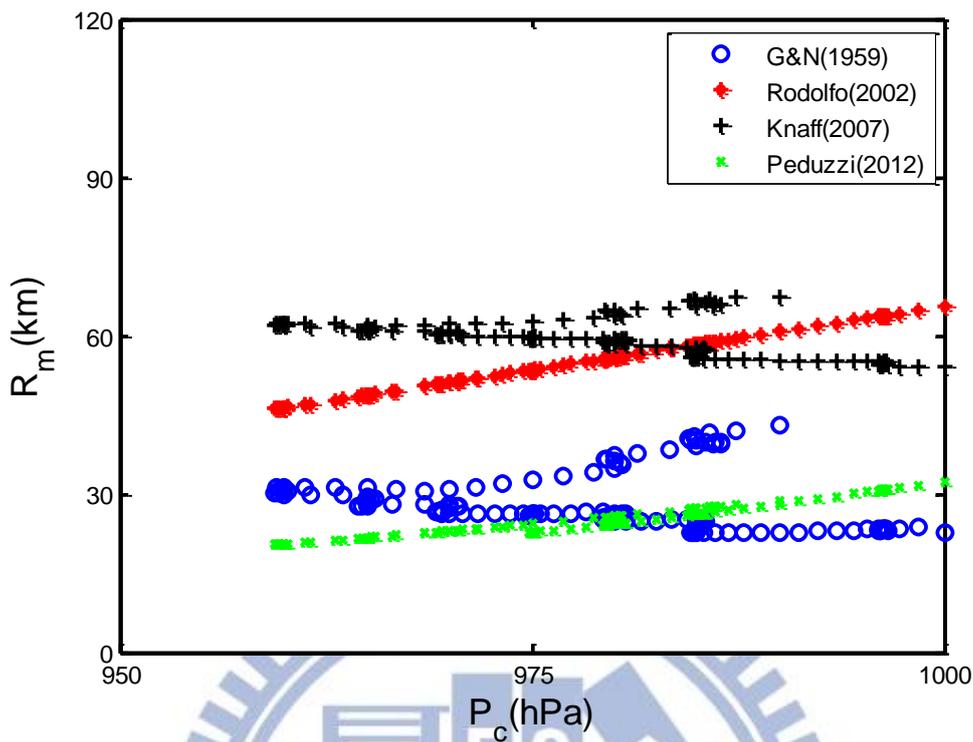


圖 3-10 蘇拉颱風(2012)最大風速半徑隨颱風中心氣壓變化圖

由圖 3-1 至圖 3-10 可得知利用四個回歸公式計算其最大風速半徑的值域範圍與其時序變動趨勢如下說明：

1. 由圖 3-1 至圖 3-5 可看出由 G&N 與 Knaff 兩個公式的趨勢相近，兩者計算出來的最大風速半徑的值差異約一半。而 Rodolfo 與 Peduzzi 兩個公式趨勢上相近，兩者計算出來的最大風速半徑的值差異亦約為一半。
2. 參考張(2006)對最大暴風半徑的探討結論，同理由圖 3-6 至圖 3-10 可看出由 G&N 與 Knaff 兩個公式的趨勢相近，兩者計算出的最大風速半徑隨氣壓變化可看出兩種特性：1.最大風速半徑隨氣壓減弱而增大，稱此部分為颱風生成至颱風成熟時期；2.最大風速半徑隨氣壓增強而降低，稱此部分為颱風衰退時期。而 Rodolfo 與 Peduzzi 兩個公式趨勢上相近，由圖看出兩公式皆為最大風速半徑隨氣壓增強而增加，此颱風的特性不符，因此根據颱風特性選用由 G&N

與 Knaff 兩個公式比較合理。

3-2 局部風速

成熟的颱風結構其颱風眼區域的風速狀況呈現平靜狀態，風速隨著颱風中心距離變化增加而增大，並在颱風眼區域的邊界達到最大；而颱風眼區域外，風速隨距離變化增加而減小。局部風速適用於颱風幾乎靜止狀態，由自由旋轉(free vortex)及強制旋轉(force vortex)的組合旋轉來描述颱風的風場。利用參數化颱風風場模型將上述颱風風場特性能以一個函式來描述，並透過中心氣壓、近颱風中心最大風速、最大風速半徑、推算點與颱風中心的距離等參數來推算局部風速。

參數化風場模型優點為計算程序簡單、應用上較為快速，但是在颱風運動行為複雜時，無法完整描述真實颱風風場分布情形，因此在颱風波浪計算時會產生無預期的誤差，由於需要符合快速計算的要求因此使用此風場計算風速。此節探討利用參數化颱風風場模型所計算出來的風速配合實測風速作驗證，篩選出較適合的參數化風場模型的選擇。本文使用四種常用的參數化颱風風場模型 RVM、MRVM、SLOSH 及 M HWM，各個颱風風場模型的公式示如表 3-2。

由於空氣的溫度與密度會變化的特性造成氣壓變化，使得空氣會由高氣壓往低氣壓流動。當單位距離內的氣壓變化量愈大，氣壓梯度也會愈大使風速會愈強。MRVM 模型的梯度風速分布以颱風中心距目標點距離 r 及最大風速半徑 R_m 比值型式描述風場，再以形狀參數 X 作調配，(Hughes,1952)建議 X 值以 0.5 代入。SLOSH 模型的梯度風速分布類似 MRVM 模型，以最大風速半徑 R_m 與颱風中心距目標點距離 r 乘積當分子，最大風速半徑平方加上颱風中心距目標點距離平方當分母的比值關係描述風場。RVM 模型以颱風中心距目標點距離 r 及最大風速半徑 R_m 比值的自然指數型式描述梯度風場風速分布，因此梯度風速僅描述颱風中心靜止不動的狀態，當颱風在移動時須加上

修正風速 V_t 。MH 模型的風速分布考慮了空氣密度、颱風前進速度、科式力等影響，以形狀參數 b 來描述風場風速分布狀況。將四個風場公式表列如表 3-2 所示。

表 3-2 四個颱風風場模型公式列表

模式名稱	公式
MRVM	$V_g(r) = V_{\max} \left(\frac{r}{R_m}\right)^x \quad \text{for } r < R_m$ $V_g(r) = V_{\max} \left(\frac{R_m}{r}\right)^x \quad \text{for } r \geq R_m$
SLOSH	$V_g(r) = V_{\max} \left(\frac{2R_m r}{R_m^2 + r^2}\right)$
RVM	$V_g(r) = V_{\max} (r/R_m)^7 \exp(7(1-r/R_m)) \quad \text{for } r < R_m$ $V_g(r) = V_{\max} \exp((0.0025R_m + 0.05)(1-r/R_m)) \quad \text{for } r \geq R_m$ $V_t = 0.5V_f + \cos \phi$ $V(r) = V_g + V_t$
MH	$V(r) = \sqrt{\frac{b}{\rho} \cdot \left(\frac{R_m}{r}\right)^b \cdot (P_n - P_c) \cdot e^{-\left(\frac{R_m}{r}\right)^b} + \frac{r^2 f^2}{4} - \frac{rf}{2} + \left(\frac{R_m}{r}\right) \cdot V_f}$ $f = 2 \cdot 7.29E - 5 \cdot \sin(\phi)$ $b = \frac{\rho \cdot e \cdot (V_{\max} - V_f)}{P_n - P_c}$

上表符號說明： V_g 為距離颱風中心 r 公里處之梯度風速(m/s)、 V 為距離颱風中心 r 公里處之局部風速(m/s)、 V_{\max} 為近颱風中心最大風速(m/s)、 r 為颱風中心至目標點的距離(km)， R_m 為最大風速半徑(km)、 V_t 為修正風速(m/s)、 V_f 為颱風中心前進速度、 ϕ 為至颱風中心連線與最大風速連線兩條線之間的夾角、 b 為颱風風速分布形狀參數、 ρ 為空氣密度此處設為 $1.15(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、 e 為自然指數約等於 2.718、 f 為科里奧利參數、 P_n 為颱風暴外圍氣壓(1013hPa)， P_c 為颱風中心氣壓(hPa)。

3-3 局部風速的修正

由上述 MRVM 與 SLOSH 風場模型的公式是以水平的壓力梯度風場分布狀況，而本文所探討的風速為垂直方向的海面 10 米上空風速，因此公式須作一個修正，修正方式以一個修正係數修正之，其公式如下：

$$V_{10} = K_m V \quad (3-1)$$

其中， K_m 為一修正係數，Powell (1987) 建議 SLOSH Wind Model 的修正係數為 $0.75 < K_m < 0.8$ 。Powell & Black (1990) 建議因 SLOSH Wind Model 與 Modify Rankine Vortex Model 使用相同的 V_{max} 計算公式，所使用的修正係數皆取 0.8。

颱風在北半球為逆時鐘方向旋轉，在行徑過程中颱風的右半邊的風速會是增強的趨勢，颱風的左半邊的風速會是減弱的趨勢，Jelesnianski (1966) 建議須加上颱風行進狀態時的修正項風速修正，其修正公式如下：

$$U(r) = \frac{R_m r}{R_m^2 + r^2} V_f \quad (3-2)$$

其中， U 為距離颱風中心 r 公里處之修正風速(m/s)、 r 為颱風中心至目標點的距離(km)、 R_m 為最大暴風半徑(km)， V_f 為颱風前進速度(m/s)。

最終所求目標點海面 10 米風速 V_{10} 公式如下：

$$V_{10} = V(r) + U(r) \quad (3-3)$$

表 3-3 為利用表 2-1 的 21 場颱風的實測風速資料合併與四個風場模型搭配四個最大風速半徑計算公式所計算出來的計算風速，並利用 R^2 與 RMSE 兩個檢定指標的比較列表，如下表所示。

表 3-3 以不同風場模式及 R_m 計算公式所得的局部風速兩指標比較

	R^2				RMSE(m/s)			
	RVM	MRVM	SLOSH	MH	RVM	MRVM	SLOSH	MH
G&N	0.13	0.18	0.23	0.19	6.15	4.69	5.79	5.47
Rodolof	0.21	0.22	0.21	0.24	5.73	4.40	4.99	5.30
Knaff	0.22	0.23	0.25	0.25	5.90	4.64	4.92	5.73
Peduzzi	0.19	0.23	0.20	0.24	5.83	4.76	6.13	5.20

表 3-3 中有底色的部份表示較佳的選擇。如同 3-1 節的說明，由 Rodolof 與 Peduzzi 所提出的公式計算出來最大風速半徑的結果隨氣壓變化與實際颱風特性不符，因此不考慮 Rodolof 與 Peduzzi 的計算結果。表中可看出四個風場模型搭配 Knaff 所提出最大風速半徑公式的計算結果與實測風速較接近，相較於 G&N 的計算結果， R^2 及 RMSE 的評估皆以 Knaff 較高。再以風場模型來作篩選的結果，表 3-3 中 R^2 指標最高為 SLOSH 及 MH 模式，RMSE 指標最低為 MRVM 模式。同時考慮兩指標，MRVM 之 R^2 指標與其他三者差異不大，RMSE 為最小，因此本研究在風場模型的選擇，最後採用 MRVM 模式搭配 Knaff 所提的最大風速半徑公式。

第四章 類神經網路颱風波浪推算模式的建立

本章節在說明類神經網路颱風波浪基本模式的建立，共分成 3 個小節。在建立類神經網路颱風波浪推算模式前，須選擇與輸出相關性較高的輸入因子，本文於 4-1-1 節說明輸入參數的決定。而模式內部架構的相關參數設定，本文於 4-1-2 節說明。因 4-1-1 節選用的角度參數與波高相關性極低，因此林(2011)提出歸屬函數修正角度參數的概念，本文引用其概念說明如 4-2 節。最後以四個檢定指標來檢視模式的學習與預測成果，如 4-3 節說明。

4-1 基本模式的架構

4-1-1 輸入參數的決定

參考林(2011)的文章，利用 RSMC-Tokyo Center 提供的颱風氣象資訊包括颱風中心所在的經緯度座標、近颱風中心最大風速及颱風中心氣壓，本研究利用颱風資訊計算出 4 個類神經的輸入參數，欲建構出輸入參數與實測波高具有好的相關性或具有其物理意義的類神經颱風波浪推算模式，其選用的輸入參數分別為：1.目標點海面 10 米風速(V_{10})、2.颱風與目標點的距離(D)、3.颱風中心對目標點的方位角(θ_1)、4.颱風侵襲角(θ_3)。下方分別對 4 個輸入參數作說明：

(1) 目標點海面 10 米風速 V_{10} ：

驅動波浪最主要的動力為風能，風的起因是由於颱風中心低氣壓與外部壓力的差異造成壓力梯度的變化，此壓力梯度使得空氣劇烈的流動形成風。當颱風越接近目標點時，所造成的風能也會愈強，本研究利用 Modify Rankine Vortex Model 模型颱風模式計算出目標點海面 10 米風速 V_{10} ，將其當作類神經的風速輸入因子。

(2) 颱風中心與目標點的距離 D ：

颱風中心與目標點的距離越近時，對目標點當地波浪的影響就越

大。本研究排除 1800km 以上的資料點，並將剩餘資料點距離除以 1800km 來作正規化再以 1 減之，將原本反比之關係修改為正比關係再輸入類神經網路。

(3) 目標點的方位角 θ_1 ：

目標點的方位角可表示，目標點是在颱風中心的哪一個方位，以正北方向為 0° ，若 θ_1 為 90° 表示颱風是在目標點的左側方位，若 θ_1 為 270° 則表示颱風位於目標點的右側的方位。

(4) 颱風侵襲角 θ_3 ：

颱風侵襲角的計算公式為 $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ ， θ_2 為颱風移動方位角的資訊。因颱風暴風範圍內的風速並非均勻分布，且模型颱風模式並未考量到這種颱風的不對稱性，故需輸入此參數用來判斷目標點是位於颱風的左半圓還是右半圓(以前進方向為中心)。輸入 θ_3 也輸入了 θ_2 ，也等於將颱風的行進路徑一齊納入考量。

由經緯度資料可計算出：颱風中心與目標點的距離(D)、颱風中心對目標點的方位角(θ_1)、颱風移動的方位角(θ_2)，距離與方位角只需透過颱風中心經緯度座標與目標點座標即可計算。 θ_1 與 θ_2 如圖 4-1 所示。

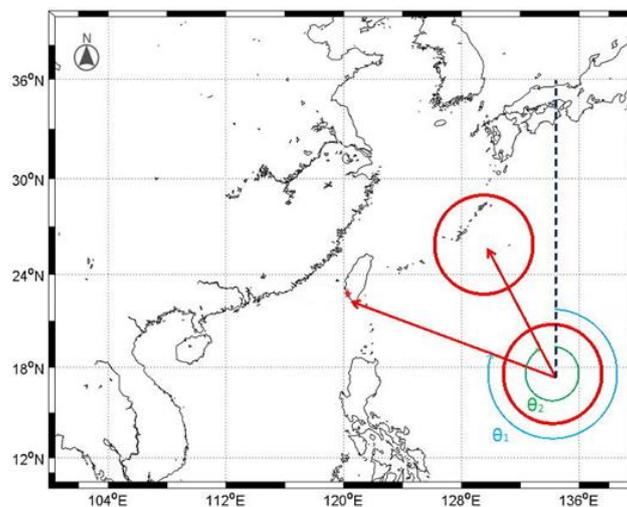


圖 4-1 颱風中心對目標點方位角 θ_1 與颱風移動方位角 θ_2 示意圖

4-1-2 模式架構的設定

本研究採用的類神經隱藏層個數為一層，轉換函數與訓練函數的部分欲模擬非線性的運算過程，以及輸入參數會有正負方向性，故選用具有能輸出正負值的正切雙彎曲轉換函數(tansig)為其隱藏層之轉換函數，正切雙彎曲轉換函數的輸出介於-1 和 1 之間。

所選用的訓練演算法為共軛梯度演算法(Conjugate Gradient Algorithm)中收斂速度較慢的 trainscg (Scaled Conjugate Gradient)，使用較慢的收斂演算法較佳。

隱藏層神經元個數的設定，本研究參考 Huang 及 Foo (2002)提出的經驗公式 $h=2z+1$ ，其中 z 為輸入層的神經元個數、 h 為隱藏層神經元個數。本研究之輸入參數為 4 個，故神經元個數採 $h=9$ 個神經元。

網路訓練之終止條件，本研究採用 trainscg (Scaled Conjugate Gradient)做為類神經網路的訓練演算法，需要給定適當的條件來停止網路的訓練，防止網路過度學習，讓網路對於其他未學習過的資料適用性更高。傳統停止網路訓練的方法有以下方式 1.時間的限制 2.訓練次數的限制 3.目標函數(MSE)的限制 4.目標函數梯度的限制。

本研究參考林(2011)的設定方式，模式在學習時 MSE 會逐漸降低，在學習的同時以查核進行網路的確認，當查核資料群之 MSE 無法因為網路的訓練而降低，即停止網路的訓練。學習次數設定 300 次，初始 MSE 設定為 0.01。以 4-1-1 節與 4-1-2 節的條件建立類神經網路颱風波浪推算模式，稱此模式為 ANN-B。

4-2 參數轉換的修正模式

將參數轉換後的修正模式稱為 ANN-M，模式所選用的參數分別為：1.目標點海面 10 米風速(V_{10})、2.颱風與目標點距離(D)、3.經高斯

函數轉換後颱風方位角影響度(λ_1)、4.經高斯函數轉換後颱風侵襲角影響度(λ_3)。

方位角(θ_1)、侵襲角(θ_3)、兩個角度參數與波高的相關性很低，不能有效反映出該參數與波高的關聯性。參考林(2011)以歸屬函數描述角度與波高關係，透過歸屬函數轉換將「角度資訊」轉換為「影響度資訊」，其值介於 0 至 1，當影響度越高對應到的波高越大，反之當影響度越低對應到的波高越小。

(1) 颱風方位角影響度 λ_1

以多變量的 Derivative-based 最佳化搜尋法找到一個高斯函數峰點中心位置為 120° 如圖 3-2 所示。結果顯示當 $\theta_1=120^\circ$ 時會得到最大影響度 1，意即當颱風在目標點臺北港的北側(120°)時，會對目標點造成最大的影響。

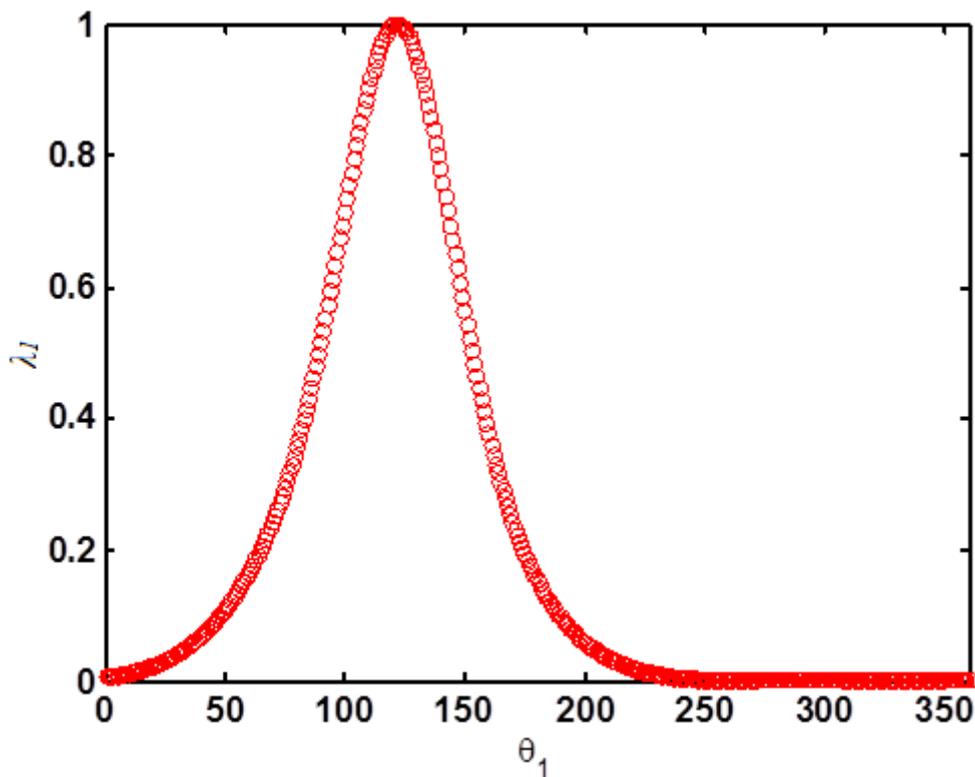


圖 4-2 利用 Derivative-based 最佳化搜尋法求得的 θ_1 高斯歸屬函數

(2) 颱風侵襲角影響度 λ_3

以多變量的 Derivative-based 最佳化搜尋法找到兩個高斯函數峰點中心位置分別為 -120° 與 130° ，如圖 3-3 所示。其結果顯示，在颱風的右半圓與左半圓各有一個侵襲角度能對目標點造成大的影響。由於侵襲角公式為 $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ ，是由颱風移動方向角與目標點方位角所組成，這兩個角度的組合即為颱風的移動路徑，當移動路徑造成侵襲角接近 -120° 或 130° 時，此種路徑的颱風對於目標點的影響度就會增大。

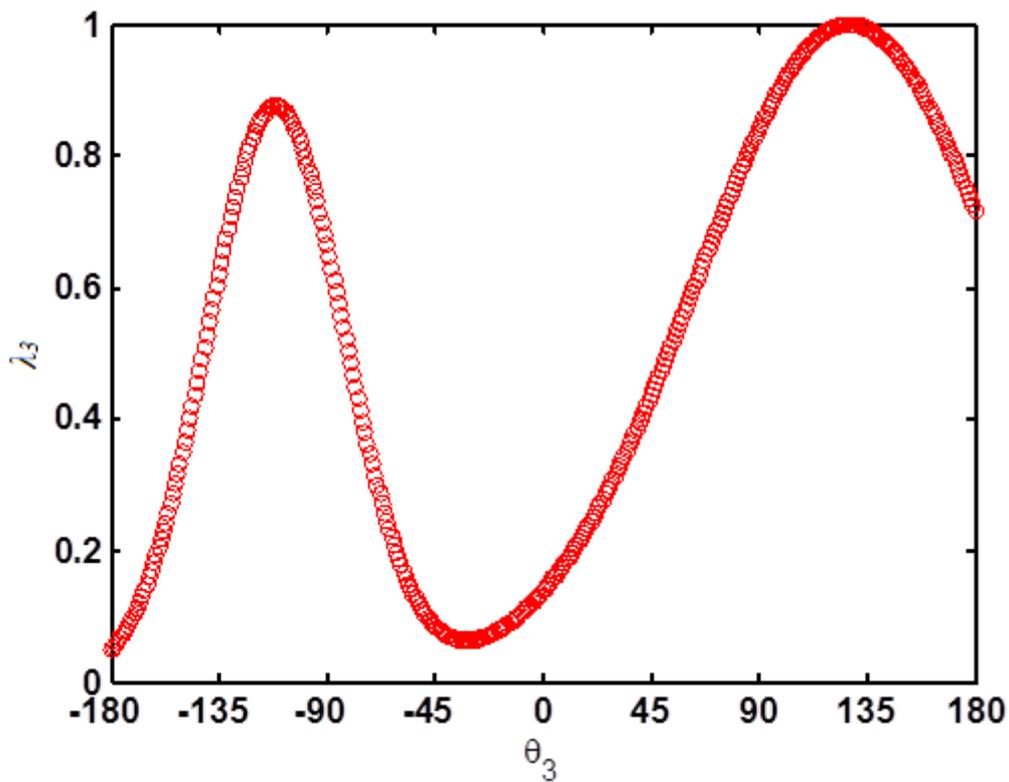


圖 4-3 利用 Derivative-based 最佳化搜尋法求得的 θ_3 高斯歸屬函數

將兩角度參數經由高斯函數轉換後，方位角(θ_1)經過轉換後相關性由-0.19 提升至 0.10、侵襲角(θ_3) 經過轉換後相關性由 0.17 提升至 0.22。將角度參數經由歸屬函數轉換後所得之影響度參數，併入目標點 10 米上空風速(V_{10})以及颱風與目標點距離(D)，其模式的設定與條件比照 4-1-2 節，架構出類神經進行颱風波浪推算模式，稱此模式為 ANN-M。下表 4-1 為 ANN-B 與 ANN-M 模式選用參數列表。

表 4-1 表列 ANN-B 與 ANN-M 模式的輸入參數

模式名稱	輸入參數	說明
ANN-B 模式	1.風場模型計算風速	驅動波浪最主要的動力為風能，當颱風越接近目標點時，風能也會愈強，造成波高愈大。
	2.颱風與目標點距離	颱風愈靠近目標點時所造成的波高愈大，反之颱風愈遠離目標點，波高則愈小。
	3.目標點方位角	目標點方位角參數可表示颱風位於目標點的哪一個方位，本文以正北方為 0 度。
	4.侵襲角	颱風範圍內的風速非均勻分布，且模型颱風模式未考量到颱風的不對稱性，故需輸入此參數以判斷位於颱風的左半圓或是右半圓。
ANN-M 模式	1.風場模型計算風速	驅動波浪最主要的動力為風能，當颱風越接近目標點時，風能也會愈強，造成波高愈大。
	2.颱風與目標點距離	颱風愈靠近目標點時所造成的波高愈大，反之颱風愈遠離目標點，波高則愈小。
	3.方位角影響度	經高斯函數轉換後，可強化方位角參數與波高的相關性，可使得模式學習及推算的精度提高。
	4.侵襲角影響度	經高斯函數轉換後，可強化侵襲角參數與波高的相關性，可使得模式學習及推算的精度提高。

4-3 模擬準確度的評估

為瞭解模式推算值與實測值的吻合程度，本研究採用 4 個檢定指標來評估所建構的模式其推算結果的優劣，分別為決定係數

(R^2 , coefficient of determination)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 、最大波高發生時間誤差 Δt_p 。

$$R^2 = \left(\frac{\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})(H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})^2 \right) \left(\sum_m \sum_n ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})^2 \right)}} \right)^2 \quad (4-1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - (H_{s,num})_{mn})^2} \quad (4-2)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (4-3)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (4-4)$$

其中 $H_{s,num}$ 為模式推算的颱風波高； $H_{s,obs}$ 為測站實測颱風波高； $\Delta t_{p,num}$ 為模式推算颱風波高最大值發生時間； $\Delta t_{p,obs}$ 為測站實測颱風波高最大值發生時間。若 $\Delta H_{s,p}$ 為正值，表示模式推算的波高有高估情形，若為負值則表示低估，若 Δt_p 為正值，表示模式推算的示性波高最大值發生時間較實測晚，若為負值則表示較實測早。

利用表 2-3 的 33 場颱風，以 RSMC-Tokyo Center 所提供之颱風資料配合港研中心提供之實測波高資料進行波浪的推算與驗證的結果如表 4-2 及表 4-3。表 4-2 及表 4-3 中加底色的颱風為完全沒有加入模式學習的驗證用颱風場次。以推算結果與實測資料間的颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}(m)$ 、最大波高發生時間誤差 $\Delta t_p(hr)$ 、均方根誤差 RMSE(m) 及決定係數 R^2 等四個指標來做評估，並附上該場颱風之最大實測波高 $H_{obs,max}(m)$ 。

將學習組與驗證組的颱風分開，分別討論這兩組的推算結果，如表 4-4 及表 4-5 所示。

表 4-2 以 ANN-B 模式推算颱風波浪的評估指標

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R ²	$H_{obs,max}$ (m)
2000	巴比倫(PRAPIROON)	-0.84	4.0	0.49	0.54	2.67
2000	碧利斯(BILIS)	0.56	-4.0	0.62	0.72	1.74
2001	海燕(HAIYAN)	-4.67	-4.0	1.35	0.83	6.54
2001	納莉(NARI)	-0.70	2.0	0.64	0.43	4.55
2001	利奇馬(LEKINA)	-1.15	18.0	0.71	0.13	3.32
2002	雷馬遜(RAMMASUN)	-0.38	4.0	0.56	0.53	2.21
2002	辛樂克(SINLAKU)	-1.26	-18.0	0.64	0.62	3.45
2003	柯吉拉(KUJIRA)	-0.13	48.0	0.64	0.06	1.95
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	0.35	9.0	0.44	0.64	1.72
2003	杜鵑(DUJUAN)	1.26	-7.0	0.76	0.75	1.21
2003	米勒(MELOR)	-0.08	11.0	0.55	0.27	2.63
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.43	-57.0	0.75	0.17	2.61
2004	蘭寧(RANANIM)	-1.30	-2.0	0.48	0.87	3.29
2004	海馬(HAIMA)	-1.32	6.0	1.40	6E-3	3.51
2004	南瑪都(NANMADOL)	-0.69	-7.0	0.74	0.05	3.10
2005	海棠(HAITANG)	-0.34	2.0	0.46	0.88	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-2.81	-4.0	0.78	0.74	5.03
2005	泰利(TALIM)	-0.51	6.0	0.54	0.81	4.08
2005	卡努(KHANUN)	-1.05	-4.0	0.49	0.52	3.19
2005	龍王(LONGWANG)	-0.28	-1.0	0.53	0.52	2.95
2006	碧利斯(BILIS)	-0.14	4.0	0.35	0.83	2.91
2006	桑美(SAOMAI)	0.47	-1.0	0.67	0.37	1.88
2006	珊珊(SAHNSHAN)	-1.45	-2.0	1.11	0.08	3.83
2007	韋帕(WIPHA)	-1.67	-2.0	0.69	0.74	4.13
2008	卡玫基(KALMAEGI)	0.37	-13.0	1.04	0.22	2.20
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	0.80	7.0	0.65	0.67	2.58
2008	辛樂克(SINLAKU)	0.07	7.0	0.63	0.62	3.83
2009	莫拉克(MORAKOT)	-0.80	4.0	0.46	0.79	4.19
2010	凡那比(FANAPI)	0.39	0.0	0.56	0.74	2.94
2010	梅姬(MEGI)	-1.78	3.0	0.82	0.54	3.47
2011	米雷(MEARI)	-1.33	-5.0	0.44	0.61	3.29
2012	蘇拉(SAOLA)	-0.07	0.0	0.36	0.83	3.75
2012	海葵(HAIKUI)	-0.50	-22.0	0.46	0.29	2.60
平均絕對值		0.91	8.72	0.66	0.53	

表 4-3 以 ANN-M 模式推算颱風波浪的評估指標

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R ²	$H_{obs,max}$ (m)
2000	巴比倫(PRAPIROON)	-0.60	2.0	0.42	0.73	2.67
2000	碧利斯(BILIS)	1.11	-4.0	0.66	0.61	1.74
2001	海燕(HAIYAN)	-4.39	-3.0	1.21	0.76	6.54
2001	納莉(NARI)	-1.47	54.0	0.54	0.51	4.55
2001	利奇馬(LEKINA)	-0.82	47.0	0.85	0.10	3.32
2002	雷馬遜(RAMMASUN)	-0.11	1.0	0.58	0.72	2.21
2002	辛樂克(SINLAKU)	-1.09	2.0	0.55	0.76	3.45
2003	柯吉拉(KUJIRA)	0.23	80.0	0.65	0.16	1.95
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	0.69	12.0	0.53	0.62	1.72
2003	杜鵑(DUJUAN)	0.94	-6.0	0.63	0.73	1.21
2003	米勒(MELOR)	-0.54	-7.0	0.50	0.30	2.63
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.62	-38.0	0.65	0.20	2.61
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.85	-2.0	0.38	0.97	3.29
2004	海馬(HAIMA)	-0.30	-27.0	0.83	0.26	3.51
2004	南瑪都(NANMADOL)	0.10	1.0	0.68	0.08	3.10
2005	海棠(HAITANG)	-0.92	5.0	0.47	0.86	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-2.47	-8.0	0.69	0.84	5.03
2005	泰利(TALIM)	-1.36	0.0	0.49	0.85	4.08
2005	卡努(KHANUN)	-0.67	-5.0	0.49	0.64	3.19
2005	龍王(LONGWANG)	-0.18	-2.0	0.38	0.63	2.95
2006	碧利斯(BILIS)	-0.19	-2.0	0.30	0.85	2.91
2006	桑美(SAOMAI)	0.62	-10.0	0.72	0.33	1.88
2006	珊珊(SAHNSHAN)	-1.19	-6.0	1.06	0.13	3.83
2007	韋帕(WIPHA)	-1.48	-11.0	0.64	0.70	4.13
2008	卡玫基(KALMAEGI)	0.66	-13.0	1.05	0.20	2.20
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	0.21	7.0	0.42	0.70	2.58
2008	辛樂克(SINLAKU)	-1.09	-17.0	0.50	0.77	3.83
2009	莫拉克(MORAKOT)	-1.33	12.0	0.50	0.84	4.19
2010	凡那比(FANAPI)	-0.27	9.0	0.39	0.80	2.94
2010	梅姬(MEGI)	-1.16	-17.0	0.78	0.60	3.47
2011	米雷(MEARI)	-1.00	-1.0	0.45	0.68	3.29
2012	蘇拉(SAOLA)	-0.99	0.0	0.40	0.80	3.75
2012	海葵(HAIKUI)	-0.84	-2.0	0.30	0.74	2.60
平均絕對值		0.92	12.52	0.59	0.59	

表 4-4 比較 ANN-B 與 ANN-M 模式的學習組評估指標

年份	颱風名稱	ANN-B				ANN-M				
		$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R^2	$H_{obs,max}$ (m)
2000	碧利斯(BILIS)	0.56	-4.0	0.62	0.72	1.11	-4.0	0.66	0.61	1.74
2001	海燕(HAIYAN)	-4.67	-4.0	1.35	0.83	-4.39	-3.0	1.21	0.76	6.54
2001	利奇馬(LEKINA)	-1.15	18.0	0.71	0.13	-0.82	47.0	0.85	0.10	3.32
2003	柯吉拉(KUJIRA)	-0.13	48.0	0.64	0.06	0.23	80.0	0.65	0.16	1.95
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	0.35	9.0	0.44	0.64	0.69	12.0	0.53	0.62	1.72
2003	米勒(MELOR)	-0.08	11.0	0.55	0.27	-0.54	-7.0	0.50	0.30	2.63
2004	蘭寧(RANANIM)	-1.30	-2.0	0.48	0.87	-0.85	-2.0	0.38	0.97	3.29
2004	南瑪都(NANMADOL)	-0.69	-7.0	0.74	0.05	0.10	1.0	0.68	0.08	3.10
2005	海棠(HAITANG)	-0.34	2.0	0.46	0.88	-0.92	5.0	0.47	0.86	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-2.81	-4.0	0.78	0.74	-2.47	-8.0	0.69	0.84	5.03
2005	卡努(KHANUN)	-1.05	-4.0	0.49	0.52	-0.67	-5.0	0.49	0.64	3.19
2006	碧利斯(BILIS)	-0.14	4.0	0.35	0.83	-0.19	-2.0	0.30	0.85	2.91
2006	桑美(SAOMAI)	0.47	-1.0	0.67	0.37	0.62	-10.0	0.72	0.33	1.88
2006	珊珊(SAHNSHAN)	-1.45	-2.0	1.11	0.08	-1.19	-6.0	1.06	0.13	3.83
2007	韋帕(WIPHA)	-1.67	-2.0	0.69	0.74	-1.48	-11.0	0.64	0.70	4.13
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	0.80	7.0	0.65	0.67	0.21	7.0	0.42	0.70	2.58
2009	莫拉克(MORAKOT)	-0.80	4.0	0.46	0.79	-1.33	12.0	0.50	0.84	4.19
2010	梅姬(MEGI)	-1.78	3.0	0.82	0.54	-1.16	-17.0	0.78	0.60	3.47
2012	蘇拉(SAOLA)	-0.07	0.0	0.36	0.83	-0.99	0.0	0.40	0.80	3.75
2012	海葵(HAIKUI)	-0.50	-22.0	0.46	0.29	-0.84	-2.0	0.30	0.74	2.60
平均絕對值		1.04	7.90	0.64	0.54	1.04	12.10	0.61	0.58	

由表 4-4 中可看出，學習組中 20 場颱風波浪推算結果 $\Delta H_{s,p}$ 平均值 ANN-B 與 ANN-M 兩個模式結果相同，其值皆為 1.04 米。 Δt_p 平均值以 ANN-B 模式之結果較低，其值為 7.9 小時。均方根誤差 RMSE 平均值以 ANN-M 模式之結果較低，其值為 0.61 米。相關性 R^2 平均值以 ANN-M 模式之結果較高，其值為 0.58。角度參數經由歸屬函數修正後，在學習上幫助類神經提升趨勢上的修正與整體均方根誤差上的修正。RMSE 平均值降低 5%、 R^2 平均值提升 7%。

表 4-5 比較 ANN-B 與 ANN-M 模式的驗證組評估指標

年份	颱風名稱	ANN-B				ANN-M				
		$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R^2	$H_{obs,max}$ (m)
2002	辛樂克(SINLAKU)	-1.26	-18.0	0.64	0.62	-1.09	2.0	0.55	0.76	3.45
2003	杜鵑(DUJUAN)	1.26	-7.0	0.76	0.75	0.94	-6.0	0.63	0.73	1.21
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.43	-57.0	0.75	0.17	-0.62	-38.0	0.65	0.20	2.61
2004	海馬(HAIMA)	-1.32	6.0	1.40	6E-3	-0.30	-27.0	0.83	0.26	3.51
2005	龍王(LONGWANG)	-0.28	-1.0	0.53	0.52	-0.18	-2.0	0.38	0.63	2.95
2010	凡那比(FANAPI)	0.39	0.0	0.56	0.74	-0.27	9.0	0.39	0.80	2.94
平均絕對值		0.82	14.83	0.77	0.47	0.57	14.00	0.57	0.56	

由表 4-5 中可發現，驗證中 6 場颱風波浪推算結果 $\Delta H_{s,p}$ 平均值以 ANN-M 模式之結果較低，其值為 0.57 米。 Δt_p 平均值以 ANN-M 模式之結果較低，其值為 14 小時。RMSE 平均值以 ANN-M 模式之結果較低，其值為 0.57 米。相關性 R^2 平均值以 ANN-M 模式之結果較高，其值為 0.56。

角度參數經由歸屬函數修正後，在預測上幫助類神經提升趨勢上的修正與整體均方根誤差上的修正。RMSE 平均值降低 26%、 R^2 平均值提升 16%。

第五章 修正的類神經颱風波浪模式

此章節在說明，修正類神經網路颱風波浪模式的建立。5-1 節為提出兩個局部風速的改正的方法、5-2 節為波高與颱風位置空間資訊參數的計算、5-3 節為模式推算整場颱風歷時波高的比較及 5-4 節為推算波高風值的差異分析。

5-1 局部風速的改正

利用參數化颱風風場模型所計算出來的 10 米海面上空風速與實測風速的誤差量大，且趨勢上也有所差異。因此利用計算風速輸入類神經網路前，須先進行風速的改正程序。本研究提出兩個改正方法：1. 利用颱風資訊及實測風速資料建立風速類神經網路風速推算模式，2. 利用回歸公式修正參數化風場模型的計算風速。其方法如以下說明：

1. 方法一：

利用表 2-1 的 21 場颱風資訊來建構風速類神經網路，稱此模式為 ANN-W。建立此模式所選用參數為：1. 參數化風場模型計算風速 (V_{10})、2. 颱風中心與目標點距離 (D)、3. 實測風速與颱風位置空間資訊參數 (C_v)。

計算風速 (V_{10}) 參數及颱風中心與目標點距離 (D) 兩個參數比照 4-1-1 節的說明，實測風速與颱風位置空間資訊參數 (C_v) 的計算方式為實測風速 (V_{10m}) 與颱風中心與目標點距離 (D) 之比值。圖 5-1 為實測風速隨距離變化的關係圖，可由圖中看出颱風越遠離臺北港時，風速越小反之颱風越靠近臺北港測站時，風速則愈大。

風速與距離比較明顯關係下，利用經緯度座標(颱風中心位置)及實測風速與颱風位置空間資訊參數製成一個空間資訊分布圖，如圖 5-2 所示。圖 5-2 中的紅色方框表示臺北港測站的所在位置其值的範

圍介於 0 至 0.8，顏色由淺至深表示數值由小到大，藉由此參數提升類神經網路的推算經度。在未來應用上，利用內差的方式輸入新的颱風所在經緯度求得此參數再輸入類神經網路進行風速的推算。

由於擁有的實測風速對應到的颱風資料量有限，在建立實測風速與颱風位置參數的空間資訊分布圖上較困難。因每場颱風的特性不同，在使用內插方法求得此參數會造成誤差，進而提供輸入類神經網路錯誤的資訊，因此在建立風速類神經網路時，將所擁有的實測風速對應的颱風場次都進行學習，此模式不作模式的驗證，其學習的結果如圖 5-3。

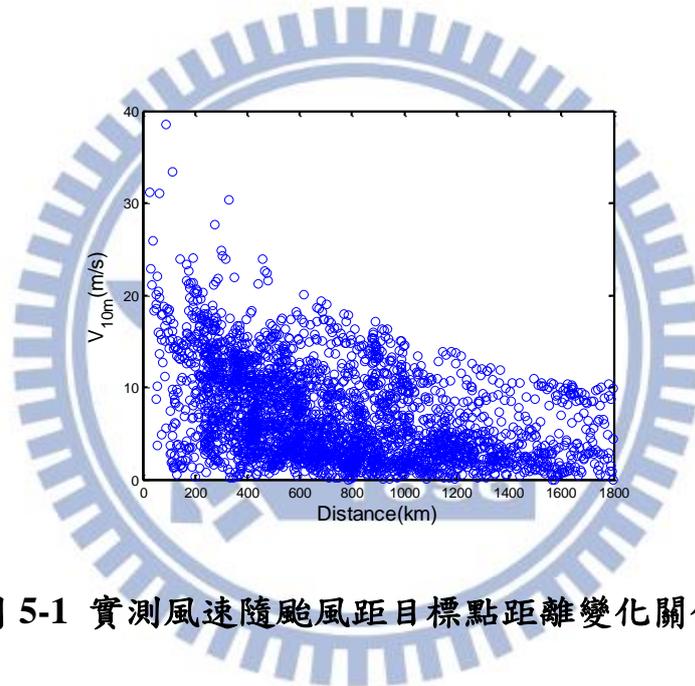


圖 5-1 實測風速隨颱風距目標點距離變化關係圖

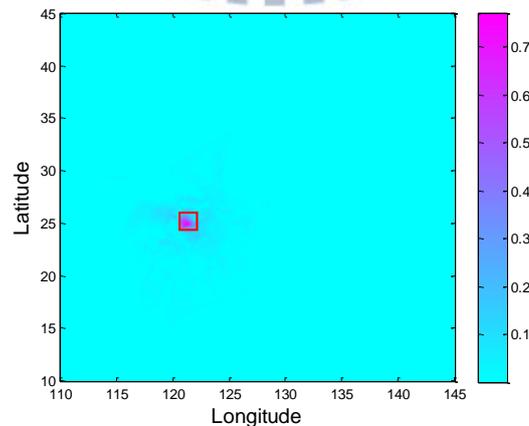


圖 5-2 實測風速的位置參數的空間資訊分布圖

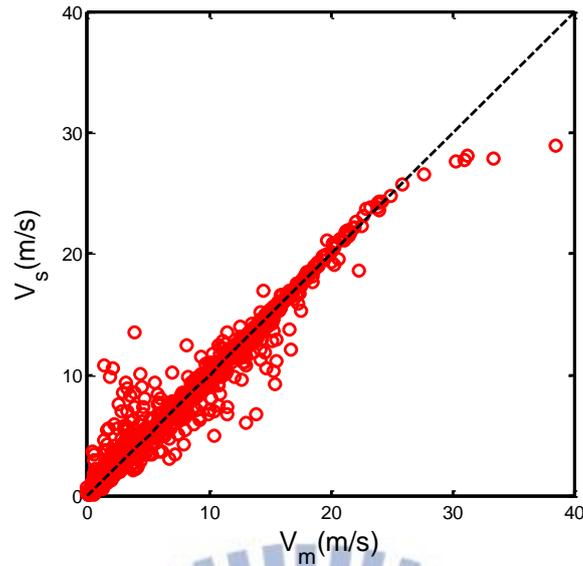


圖 5-3 ANN-W 模式學習結果 Q-Q 圖

由圖 5-3 可看出輸入實測風速與颱風位置空間資訊參數對學習是有幫助的， R^2 指標為 0.97，在趨勢上學習狀況良好，RMSE 指標為 0.79，誤差也比單純利用參數化風場模型下降許多，BIAS 指標為 0.008，偏差量也相當小，表示整體學習效果不錯。以此良好的學習狀況當作一個風速的修正依據，以 V_{ann} 風速來當作修正類神經颱風波浪推算模式的風速輸入參數。

2. 方法二:

臺北港平均季節風速為 6.44(m/s)，所對應的平均示性波高值為 0.88(m)。以此當作修正的依據，若風場模型推算出來的風速比平均風速小，且對應的波高比統計平均示性波高值大，則由公式 5-1 作風速之修正。若計算風速比平均風速小，且波高小於最小統計示性波高值 0.58(m)時，則以線性回歸公式 5-2 作風速修正。

$$V_c = (0.0199 + (0.01992 - 4 * (0.5881 - H) * 0.0102)^{0.5}) / 2 / 0.012 \quad (5-1)$$

$$V_c = H * 6.44 / 0.5881 \quad (5-2)$$

其中， V_c 為修正風速(m/s)、 H 為示性波高(m)。

因模式須具備預報能力，在預報過程中無法得知實測波高資料，本研究提出以 ANN-M 模式推算出的波高當作實測波高特性，並利用回歸公式修正風速後再當作風速因子輸入類神經網路。

5-2 臺北港的波高與颱風位置的空間資訊(C_h)

比照 5-1 節說明，波高與距離的關係也較明顯，依相同方式操作。在此利用學習組及驗證組兩組資料的實測波高資料與目標點距離的比值作為波高與颱風位置的空間資訊參數(C_h)，再利用經緯度座標及實測波高與颱風位置的空間資訊參數製成空間資訊圖，示如圖 5-4。圖 5-4 中紅色方框為臺北港測站位置，其值的範圍介於 0 至 0.1，顏色由淺至深表示數值由小到大。在未來應用上，利用內差的方式輸入新的颱風所在經緯度位置求得此參數輸入類神經網路進行波高的推算。

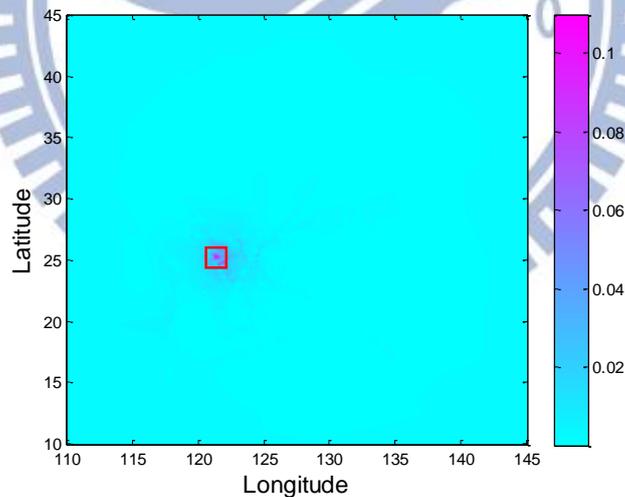


圖 5-4 颱風波高的位置參數的空間資訊分布圖

利用 5-1 節提出的修正風速方法及颱風中心距目標點的距離(D)波高與颱風位置參數(C_h)等參數，建立修正類神經網路颱風波浪模式，模式的設定條件比照 4-1-2 節說明。表 5-1 為 ANN-V 與 ANN-P 模式輸入參數選用列表。

將學習組與驗證組的颱風分開，分別討論這兩組的推算結果，如表 5-4 及表 5-5 所示。表 5-2 為 ANN-V 模式以四個檢定指標評估推算結果及最大波高列表，表 5-3 為 ANN-P 模式以四個檢定指標評估推算結果及最大波高列表。

表 5-1 表列 ANN-V 與 ANN-P 模式的輸入參數

模式名稱	輸入參數	說明
ANN-V 模式	1.回歸公式修正風速	因風場模型模式的計算風速無法完整描述當地實際風速狀況，與波高關係不夠明顯。本文利用回歸公式將風場模型計算風速進行修正。
	2.颱風與目標點距離	颱風愈靠近目標點時所造成的波高愈大，反之颱風愈遠離目標點，波高則愈小。
	3.波高與颱風位置參數	角度參數經高斯函數轉換與波高關係僅有些微提升，本文依此參數建立空間資訊分布圖，用以描述颱風行經不同位置造成不同波高特性。
ANN-P 模式	1.類神經計算風速	因風場模型模式的計算風速無法完整描述當地實際風速狀況，本研究蒐集 21 場颱風實測風速利用這些資料建構風速類神經網路，改正風速。
	2.颱風與目標點距離	颱風愈靠近目標點時所造成的波高愈大，反之颱風愈遠離目標點，波高則愈小。
	3.波高與颱風位置參數	角度參數經高斯函數轉換與波高關係僅有些微提升，本文依此參數建立空間資訊分布圖，用以描述颱風行經不同位置造成不同波高特性。

表 5-2 以 ANN-V 模式推算颱風波浪的評估指標

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R ²	$H_{obs,max}$ (m)
2000	巴比倫(PRAPIROON)	0.22	-5.0	0.25	0.89	2.67
2000	碧利斯(BILIS)	0.21	-43.0	0.22	0.92	1.74
2001	海燕(HAIYAN)	-2.32	0.0	0.64	0.74	6.54
2001	納莉(NARI)	-1.55	-5.0	0.39	0.72	4.55
2001	利奇馬(LEKINA)	-0.12	-62.0	0.21	0.85	3.32
2002	雷馬遜(RAMMASUN)	0.43	-5.0	0.31	0.79	2.21
2002	辛樂克(SINLAKU)	-0.38	2.0	0.47	0.75	3.45
2003	柯吉拉(KUJIRA)	0.95	86.0	0.38	0.60	1.95
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	1.13	8.0	0.24	0.86	1.72
2003	杜鵑(DUJUAN)	1.07	-8.0	0.39	0.60	1.21
2003	米勒(MELOR)	-0.22	8.0	0.24	0.84	2.63
2004	敏督利(MINDULLE)	0.02	-20.0	0.61	0.21	2.61
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.14	0.0	0.18	0.96	3.29
2004	海馬(HAIMA)	-0.56	1.0	0.66	0.37	3.51
2004	南瑪都(NANMADOL)	-0.69	-1.0	0.25	0.55	3.10
2005	海棠(HAITANG)	-0.91	3.0	0.24	0.95	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-1.37	0.0	0.31	0.95	5.03
2005	泰利(TALIM)	-0.75	0.0	0.20	0.96	4.08
2005	卡努(KHANUN)	-0.05	0.0	0.22	0.92	3.19
2005	龍王(LONGWANG)	0.32	-3.0	0.44	0.62	2.95
2006	碧利斯(BILIS)	0.03	7.0	0.22	0.92	2.91
2006	桑美(SAOMAI)	1.54	-6.0	0.47	0.39	1.88
2006	珊珊(SAHNSHAN)	-0.46	3.0	0.42	0.69	3.83
2007	韋帕(WIPHA)	-1.16	2.0	0.39	0.88	4.13
2008	卡玫基(KALMAEGI)	0.69	-25.0	0.48	0.45	2.20
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	-0.03	0.0	0.22	0.92	2.58
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.74	12.0	0.41	0.80	3.83
2009	莫拉克(MORAKOT)	-0.74	0.0	0.28	0.93	4.19
2010	凡那比(FANAPI)	-0.08	0.0	0.40	0.75	2.94
2010	梅姬(MEGI)	-0.92	-3.0	0.48	0.57	3.47
2011	米雷(MEARI)	-0.13	1.0	0.48	0.68	3.29
2012	蘇拉(SAOLA)	-0.62	0.0	0.27	0.90	3.75
2012	海葵(HAIKUI)	-0.44	0.0	0.17	0.92	2.60
平均絕對值		0.64	9.67	0.35	0.75	

表 5-3 以 ANN-P 模式推算颱風波浪的評估指標

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R ²	$H_{obs,max}$ (m)
2000	巴比倫(PRAPIROON)	-0.14	-5.0	0.32	0.86	2.67
2000	碧利斯(BILIS)	0.21	-4.0	0.57	0.48	1.74
2001	海燕(HAIYAN)	-2.60	0.0	1.01	0.67	6.54
2001	納莉(NARI)	-0.94	-4.0	0.35	0.77	4.55
2001	利奇馬(LEKINA)	-1.05	28.0	0.61	0.12	3.32
2002	雷馬遜(RAMMASUN)	0.16	-5.0	0.68	0.70	2.21
2002	辛樂克(SINLAKU)	-0.75	2.0	0.66	0.73	3.45
2003	柯吉拉(KUJIRA)	0.65	90.0	0.56	0.15	1.95
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	0.86	8.0	0.51	0.55	1.72
2003	杜鵑(DUJUAN)	0.70	-6.0	0.73	0.25	1.21
2003	米勒(MELOR)	-0.29	0.0	0.39	0.77	2.63
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.37	-22.0	0.68	0.17	2.61
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.59	0.0	0.42	0.88	3.29
2004	海馬(HAIMA)	0.19	0.0	0.70	0.10	3.51
2004	南瑪都(NANMADOL)	-0.74	-1.0	0.55	0.11	3.10
2005	海棠(HAITANG)	-0.97	0.0	0.51	0.84	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-4.57	0.0	0.52	0.92	5.03
2005	泰利(TALIM)	-0.75	0.0	0.45	0.93	4.08
2005	卡努(KHANUN)	-0.42	0.0	0.43	0.67	3.19
2005	龍王(LONGWANG)	0.03	-2.0	0.40	0.55	2.95
2006	碧利斯(BILIS)	0.43	4.0	0.44	0.77	2.91
2006	桑美(SAOMAI)	1.29	-6.0	0.54	0.32	1.88
2006	珊珊(SAHNSHAN)	-0.91	-3.0	0.92	0.28	3.83
2007	韋帕(WIPHA)	-0.39	-2.0	0.41	0.87	4.13
2008	卡玫基(KALMAEGI)	0.88	-7.0	0.74	0.40	2.20
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	-0.20	11.0	0.40	0.81	2.58
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.49	14.0	0.53	0.76	3.83
2009	莫拉克(MORAKOT)	-0.94	0.0	0.42	0.85	4.19
2010	凡那比(FANAPI)	-0.45	0.0	0.47	0.73	2.94
2010	梅姬(MEGI)	-1.61	0.0	0.71	0.61	3.47
2011	米雷(MEARI)	-0.60	1.0	0.39	0.74	3.29
2012	蘇拉(SAOLA)	0.04	13.0	0.51	0.71	3.75
2012	海葵(HAIKUI)	-0.47	1.0	0.25	0.83	2.60
平均絕對值		0.78	7.24	0.54	0.60	

表 5-4 比較 ANN-V 與 ANN-P 模式的學習組評估指標

年份	颱風名稱	ANN-V				ANN-P				
		$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R^2	$H_{obs,max}$ (m)
2000	碧利斯(BILIS)	0.21	-43.0	0.22	0.92	0.21	-4.0	0.57	0.48	1.74
2001	海燕(HAIYAN)	-2.32	0.0	0.64	0.74	-2.60	0.0	1.01	0.67	6.54
2001	利奇馬(LEKINA)	-0.12	-62.0	0.21	0.85	-1.05	28.0	0.61	0.12	3.32
2003	柯吉拉(KUJIRA)	0.95	86.0	0.38	0.60	0.65	90.0	0.56	0.15	1.95
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	1.13	8.0	0.24	0.86	0.86	8.0	0.51	0.55	1.72
2003	米勒(MELOR)	-0.22	8.0	0.24	0.84	-0.29	0.0	0.39	0.77	2.63
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.14	0.0	0.18	0.96	-0.59	0.0	0.42	0.88	3.29
2004	南瑪都(NANMADOL)	-0.69	-1.0	0.25	0.55	-0.74	-1.0	0.55	0.11	3.10
2005	海棠(HAITANG)	-0.91	3.0	0.24	0.95	-0.97	0.0	0.51	0.84	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-1.37	0.0	0.31	0.95	-4.57	0.0	0.52	0.92	5.03
2005	卡努(KHANUN)	-0.05	0.0	0.22	0.92	-0.42	0.0	0.43	0.67	3.19
2006	碧利斯(BILIS)	0.03	7.0	0.22	0.92	0.43	4.0	0.44	0.77	2.91
2006	桑美(SAOMAI)	1.54	-6.0	0.47	0.39	1.29	-6.0	0.54	0.32	1.88
2006	珊珊(SAHNSHAN)	-0.46	3.0	0.42	0.69	-0.91	-3.0	0.92	0.28	3.83
2007	韋帕(WIPHA)	-1.16	2.0	0.39	0.88	-0.39	-2.0	0.41	0.87	4.13
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	-0.03	0.0	0.22	0.92	-0.20	11.0	0.40	0.81	2.58
2009	莫拉克(MORAKOT)	-0.74	0.0	0.28	0.93	-0.94	0.0	0.42	0.85	4.19
2010	梅姬(MEGI)	-0.92	-3.0	0.48	0.57	-1.61	0.0	0.71	0.61	3.47
2012	蘇拉(SAOLA)	-0.62	0.0	0.27	0.90	0.04	13.0	0.51	0.71	3.75
2012	海葵(HAIKUI)	-0.44	0.0	0.17	0.92	-0.47	1.0	0.25	0.83	2.60
平均絕對值		0.70	11.6	0.30	0.81	0.96	8.55	0.53	0.61	

由表 5-4 中可看出，學習組中 20 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 指標平均值以 ANN-V 較低，其值為 0.70 (m)。最大波高發生時間誤差 Δt_p 指標平均值以 ANN-P 較低，其值為 8.55 (hr)。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 RMSE 指標平均值以 ANN-V 較低，其值為 0.30 (m)。推算波高結果與實測波高的相關性 R^2 指標平均值以 ANN-V 較高，其值為 0.81。

在模式的學習上，ANN-V 與 ANN-P 在趨勢上修正與均方根誤

差上有作提升。RMSE 指標平均值 ANN-V 較 ANN-P 小，其誤差百分率為 43%、R2 指標平均值 ANN-V 較 ANN-P 大，其誤差百分率為 25%。

表 5-5 比較 ANN-V 與 ANN-P 模式的驗證組評估指標

年份	颱風名稱	ANN-V				ANN-P				
		$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R^2	$H_{obs,max}$ (m)
2002	辛樂克(SINLAKU)	-0.38	2.0	0.47	0.75	-0.75	2.0	0.66	0.73	3.45
2003	杜鵑(DUJUAN)	1.07	-8.0	0.39	0.60	0.70	-6.0	0.73	0.25	1.21
2004	敏督利(MINDULLE)	0.02	-20.0	0.61	0.21	-0.37	-22.0	0.68	0.17	2.61
2004	海馬(HAIMA)	-0.56	1.0	0.66	0.37	0.19	0.0	0.70	0.10	3.51
2005	龍王(LONGWANG)	0.32	-3.0	0.44	0.62	0.03	-2.0	0.40	0.55	2.95
2010	凡那比(FANAPI)	-0.08	0.0	0.40	0.79	-0.45	0.0	0.47	0.73	2.94
平均絕對值		0.41	5.67	0.50	0.57	0.41	5.33	0.60	0.42	

由表 5-5 中可發現，驗證組中 6 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 指標平均值模式三及模式四相同，其值為 0.41 公尺。最大波高發生時間誤差 Δt_p 指標平均值以模式四較低，其值為 5.33 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 RMSE 指標平均值以模式三較低，其值為 0.50。推算波高結果與實測波高的相關性 R^2 指標平均值以模式三較高，其值為 0.57。

在模式驗證上，比較 ANN-V 與 ANN-P 之 RMSE 指標平均值以 ANN-V 較 ANN-P 小，其誤差百分率為 17%、 R^2 指標平均值以 ANN-V 較 ANN-P 大，其誤差百分率為 26%。

圖 5-5 為四個不同模式在學習組的實測波高與推算波高的散布圖，由圖 5-5 可看出，在學習組的部分以 ANN-V 與 ANN-P 的推算波高與實測波高趨勢上相關性較高，資料點較靠近 $H_m=H_s$ 方程式。

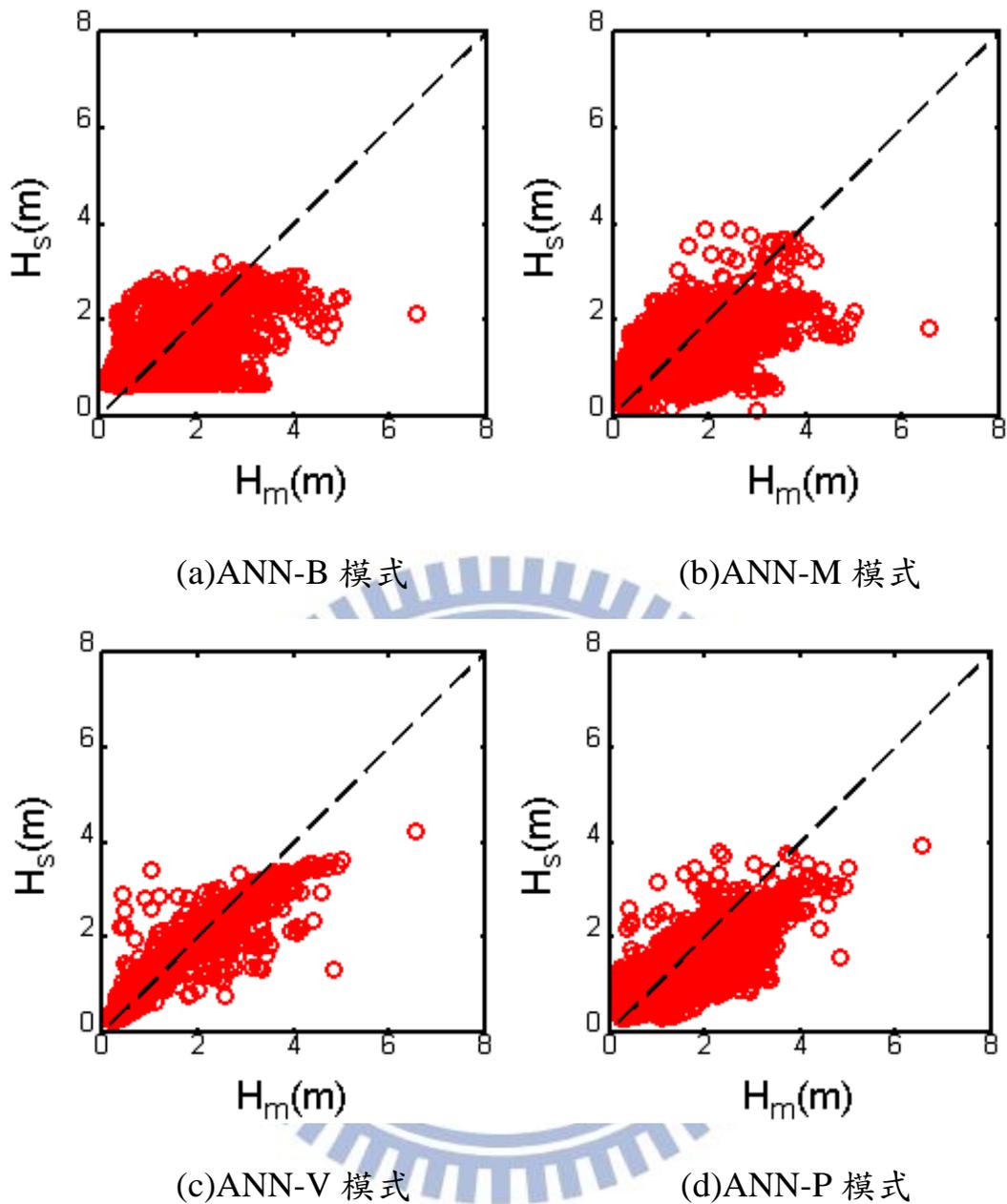


圖 5-5 不同模式的推算學習組波高與實測值之比較

將四種模式的學習組及驗證組作一個綜合列表比較。如表 5-6 所示，分別計算四個模式個別之學習組與驗證組的颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 、最大波高發生時間誤差 Δt_p 、相關係數 R^2 及均方根誤差 RMSE 等四個指標之平均值。

表 5-6 四種模式推算結果比較

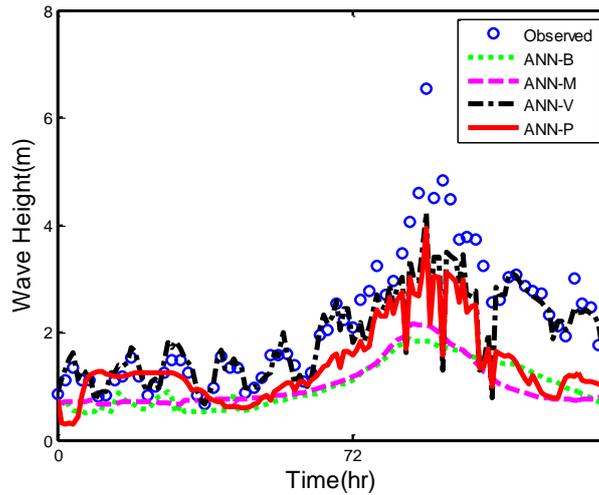
	組別	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	RMSE (m)	R^2
ANN-B	學習組	1.04	12.10	0.61	0.58
	驗證組	0.82	14.83	0.77	0.47
ANN-M	學習組	1.04	7.90	0.64	0.54
	驗證組	0.57	14.00	0.57	0.56
ANN-V	學習組	0.70	11.6	0.30	0.81
	驗證組	0.41	5.67	0.50	0.57
ANN-P	學習組	0.96	8.55	0.53	0.61
	驗證組	0.41	5.33	0.60	0.42

由表 5-6 綜合比較四個指標可得知，ANN-M 模式之推算結果較 ANN-B 模式佳，且 ANN-V 模式之推算結果較 ANN-P 模式佳。因此以下僅比較 ANN-M 模式及 ANN-V 模式的差異。比較兩模式驗證組可得知， $\Delta H_{s,p}$ 修正約 16%、RMSE 修正約 12%、 R^2 修正約 2%，而 Δt_p 有較大的修正約 60%。

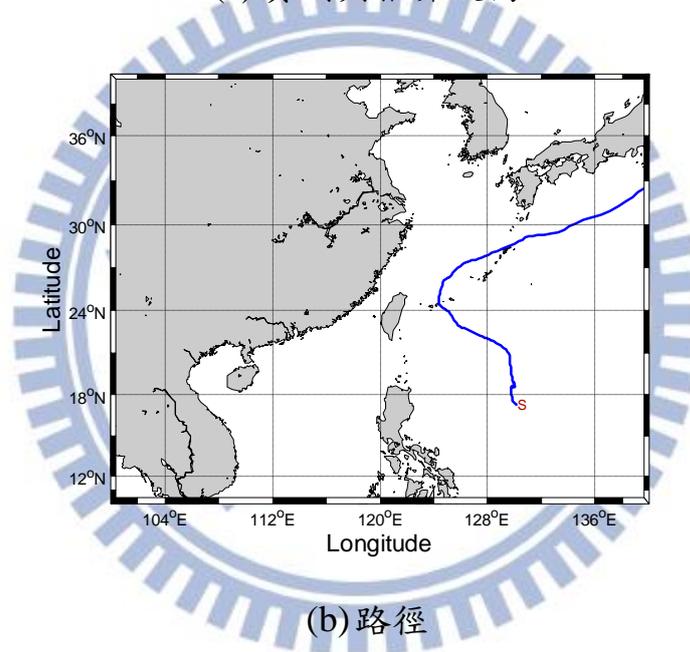
將學習組與驗證組的颱風分開，討論這兩組的推算結果，並在學習組挑取四場及驗證組兩場挑取兩場來做以下的討論。

5-3 推算整場颱風歷時波高的比較

從學習組挑選了海燕(2001)、利奇馬(2001)、柯吉拉(2003)及珊珊(2006)，從驗證組挑選了杜鵑(2003)及敏督利(2004)。這幾個案例在波高推算上，以各項指標檢定其推算效果較差，因此利用推算結果時序列圖與颱風行進路徑分別示如圖 5-6 至圖 5-11，討論如下文所述：



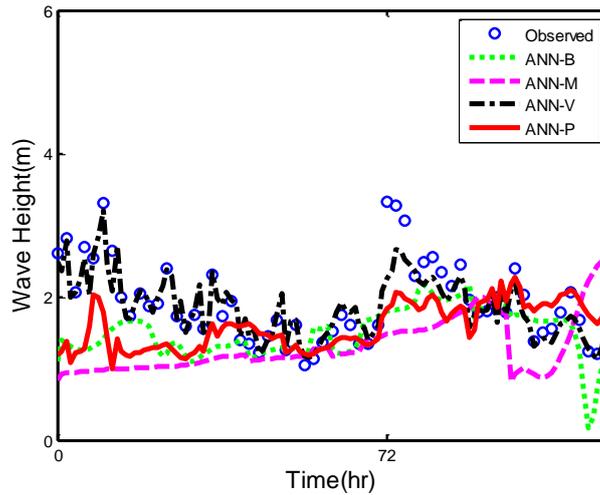
(a) 實測與推算波高



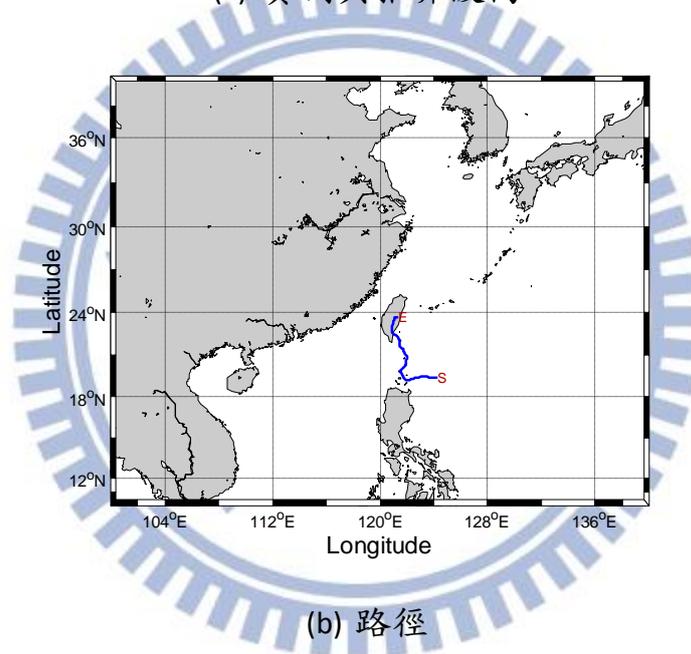
(b) 路徑

圖 5-6 4 種模式推算海燕颱風(2011)波高的比較與其路徑

由圖 5-6(a) 時序圖可看出 ANN-B 與 ANN-M 模式因波高訊號震盪較大，趨勢上學習不到且推算的波高比實測波高小很多。而 ANN-V 與 ANN-P 模式在趨勢上學習效果佳但是在波高的資料點推算結果低估。由圖 5-6(b) 路徑圖可看出海燕颱風的活動範圍在臺灣東部，行進方向為東北方向前往日本。颱風暴風範圍並沒有直接對臺北港造成侵襲，卻有較大的波高資料點存在，此路徑也會有大波高產生而四個模式皆未學習到。從整體趨勢還有推算波高與實測波高差異可判斷 ANN-V 波高推算模式較佳。



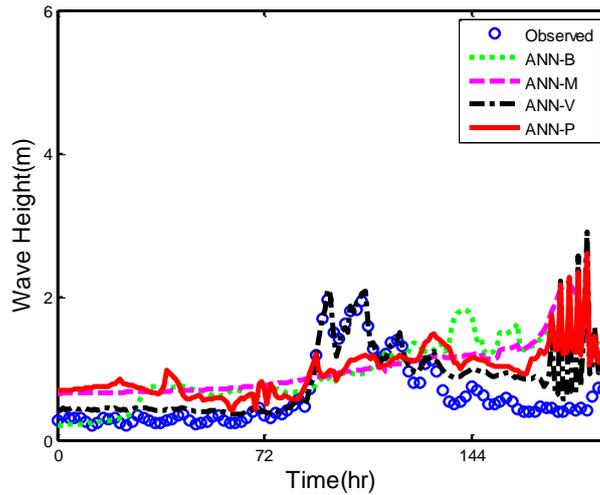
(a) 實測與推算波高



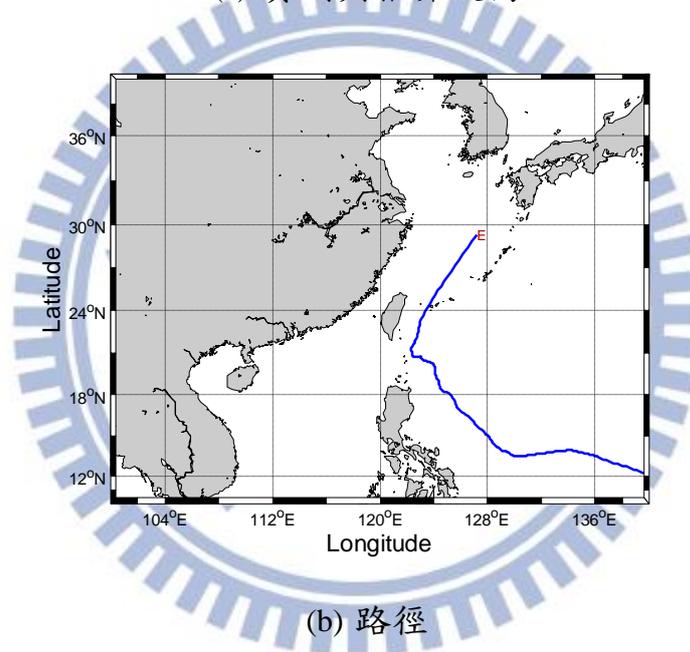
(b) 路徑

圖 5-7 4 種模式推算利奇馬颱風(2001)波高的比較與其路徑

由圖 5-7(a) 時序圖可看出 ANN-B 與 ANN-M 模式學習效果不佳，相較之下 ANN-V 與 ANN-P 模式在趨勢上學習效果良好，且在波高推算上與實測波高值也較吻合。在利奇馬颱風這個案例上，ANN-V 模式僅有少數的波高推算點不準。由圖 5-7(b) 的路徑圖可看出這場颱風的活動範圍在菲律賓北方往臺灣陸地前進，並止於臺灣島內，其行進方向為菲律賓往北方直撲臺灣南部。颱風的暴風範圍有直接對臺北港造成侵襲，行徑過程有經過臺灣陸域，受高山地形影響。從整體的學習狀況來看是 ANN-V 比較好。



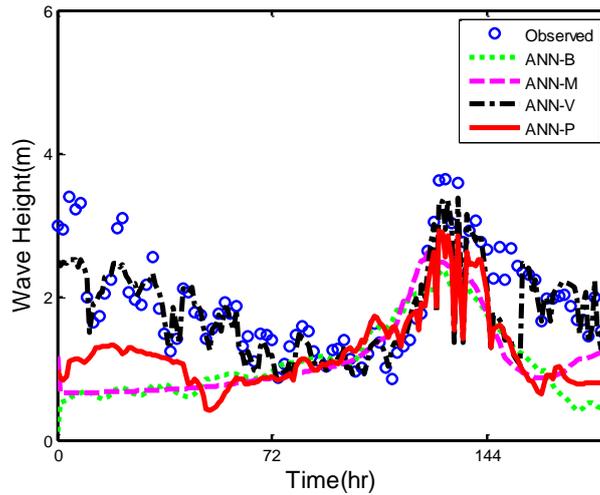
(a) 實測與推算波高



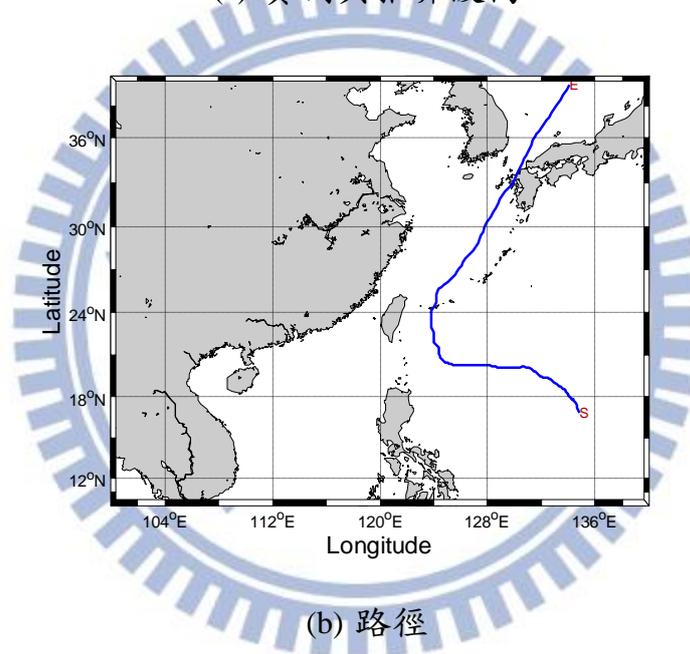
(b) 路徑

圖 5-8 4 種模式推算柯吉拉颱風(2003)波高的比較與其路徑

由圖 5-8(a) 時序圖可看出 ANN-B 與 ANN-M 模式的學習狀況不佳。而 ANN-V 模式在趨勢上學習良好，且在波高推算上與實測波高數據大致上誤差較小，僅有後方幾小時有過大的推算結果。由圖 5-8(b) 路徑圖可看出柯吉拉颱風的活動範圍在臺灣東部，行進方向為東北方向類似海燕颱風，颱風暴風範圍並未直接對臺北港造成侵襲，且此場颱風的波高偏小，大部分都在 1 米以下，因此推算最大發生波高時間容易造成大的誤差。從整體學習狀況來看是 ANN-V 模式較好。



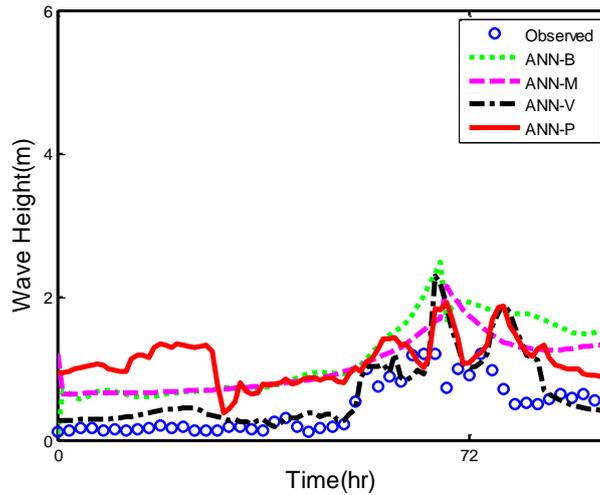
(a) 實測與推算波高



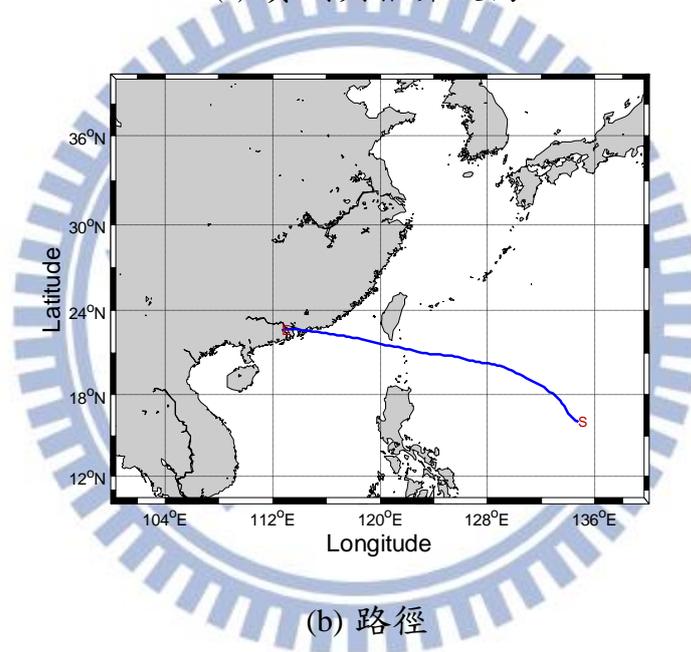
(b) 路徑

圖 5-9 4 種模式推算珊珊颱風(2006)波高的比較與其路徑

由圖 5-9(a)時序圖可看出 ANN-B 與 ANN-M 模式因波高訊號震盪較大，學習狀況不理想且 ANN-P 的學習效果亦不理想。而 ANN-V 模式在趨勢上學習效果較佳，且在波高推算上與實測數據也較吻合。由圖 5-9(b)路徑圖可看出珊珊颱風的活動範圍在臺灣東部，行進方向為東北方向類似海燕颱風(圖 5-6)及柯吉拉颱風(圖 5-8)，颱風暴風並未直接對臺北港造成侵襲，波高平均在 2 米左右。因學習組大波高資料點很少，3 米以上的波高學習不到。從整體學習狀況得知以 ANN-V 模式較好。



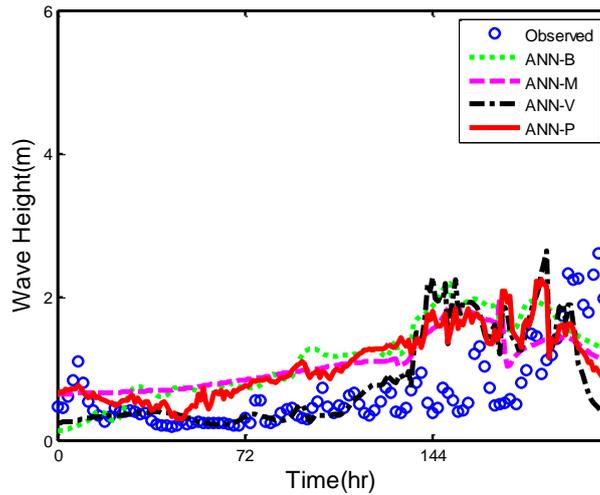
(a) 實測與推算波高



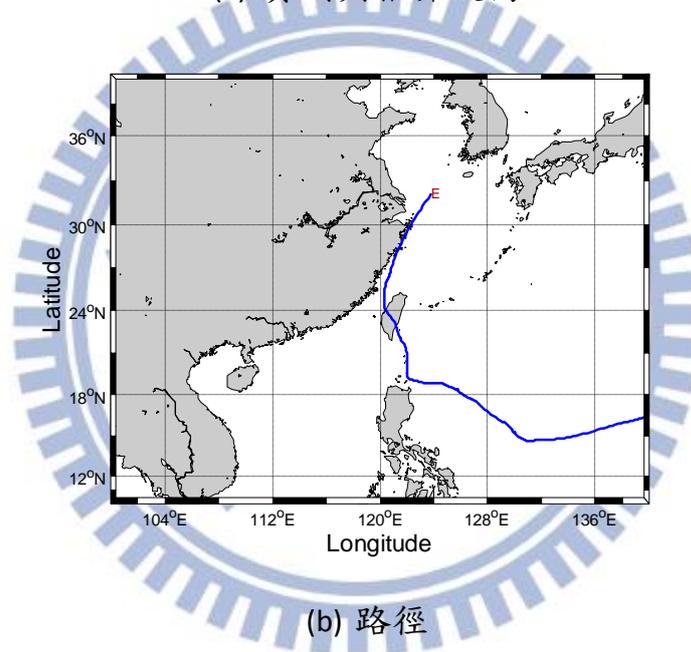
(b) 路徑

圖 5-10 4 種模式推算杜鵑颱風(2006)波高的比較與其路徑

由圖 5-10(a)時序圖可看出 ANN-B 與 ANN-M 模式預測結果也是不理想，且 ANN-P 的預測結果也是不理想。而 ANN-V 模式在趨勢上預測結果良好，且在波高推算上與實測也很接近，但再 72 小時左右的資料點有幾個過大的高估。由圖 5-10(b)路徑圖可看出杜鵑颱風的活動範圍在臺灣南部，其行進方向由太平洋東側生成沿臺灣南部海域西進往大陸，颱風暴風範圍並未直接對臺北港造成侵襲，此颱風對臺北港造成波高影響較小，波高在 1 米以下。從整體預測結果來看是 ANN-V 模式較好。



(a) 實測與推算波高



(b) 路徑

圖 5-11 4 種模式推算敏督利颱風(2004)波高的比較與其路徑

由圖 5-11(a)時序圖可看出 ANN-B、ANN-M 及 ANN-P 模式預測狀況均不佳。而 ANN-V 模式其趨勢在後半部分出現差異較大的狀況。由圖 5-12(b)路徑圖可看出敏督利颱風生成於太平洋東側，其颱風暴風範圍有直接對臺北港造成侵襲，且行經臺灣內陸會受地形影響，其波高大多在 1 米以下，僅有後半部較靠近臺北港區域時才有少數 2 米的波高值出現，模式無法考量受地形所造成的影響使得推算造成誤差。從整體預測結果來看是 ANN-V 模式比較好。

5-4 推算波高峰值的誤差分析

本節以四個波浪推算模式期推算波高峰值的誤差來分析，示如圖 5-12 至圖 5-15。

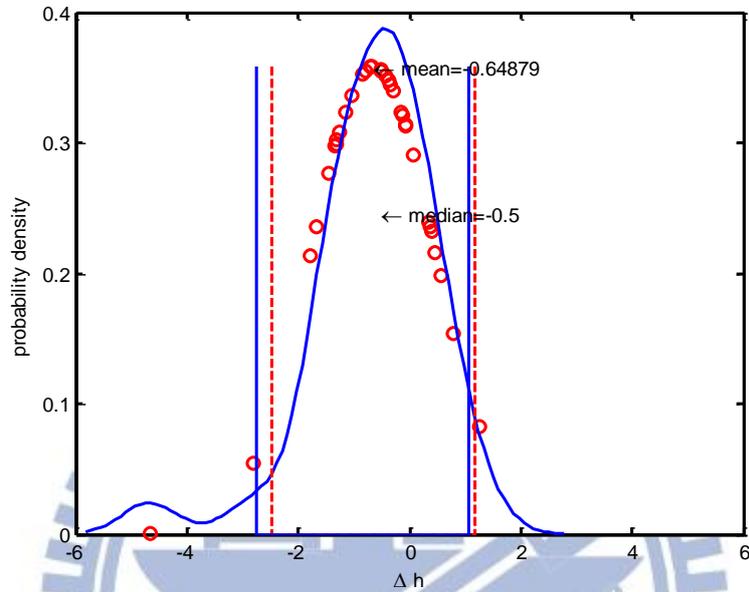


圖 5-12 以 ANN-B 推算波高峰值的誤差分析

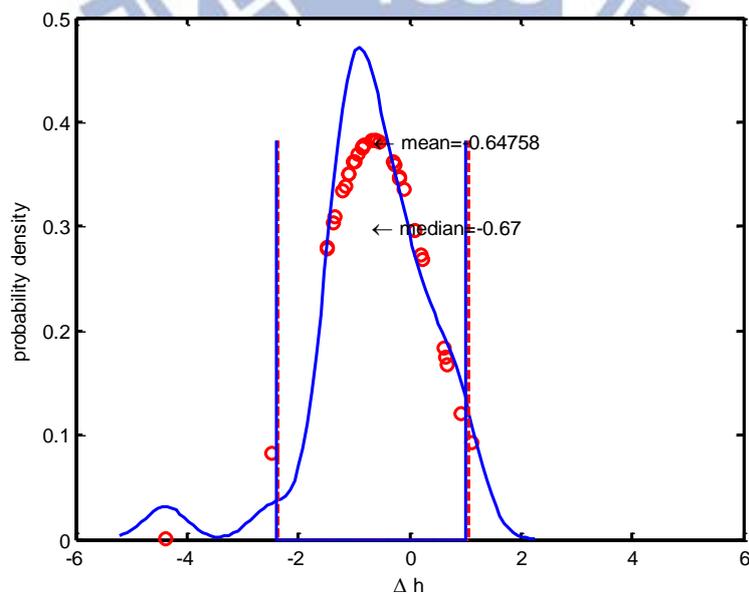


圖 5-13 以 ANN-M 模式推算波高峰值的誤差分析

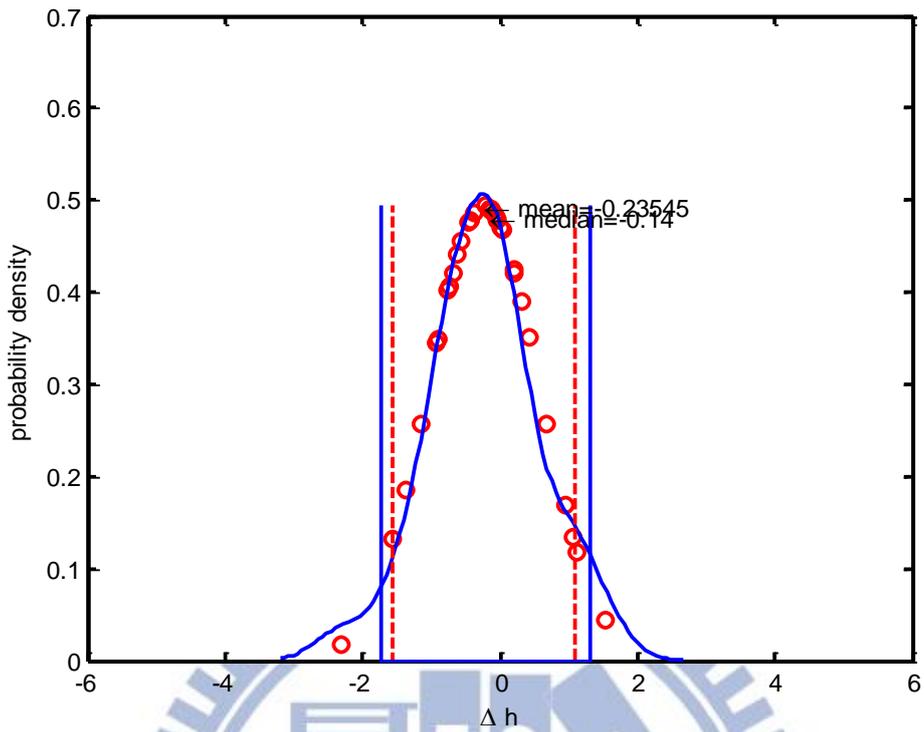


圖 5-14 以 ANN-V 模式推算波高峰值的誤差分析

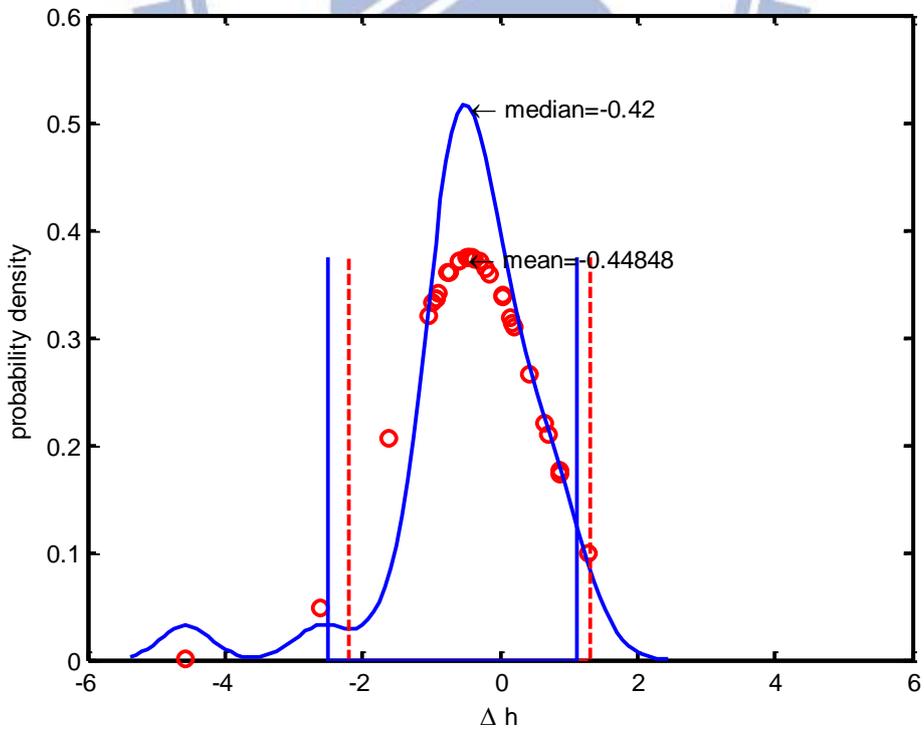


圖 5-15 以 ANN-P 模式推算波高峰值的誤差分析

圖 5-12 為 ANN-B 模式波浪推算結果的各場颱風波高峰值的誤差分析，其平均值為-0.5 米，中位數為-0.65 米，標準偏差為 1.11 米，33 個樣本中不通過 95%信賴度的有 2 個，佔全部的 6%。

圖 5-13 為 ANN-M 波浪推算結果的各場颱風波高峰值的誤差分析，其平均值為-0.65 米，中位數為-0.67 米，標準偏差為 1.04 米，33 個樣本中不通過 95%信賴度的有 2 個，佔全部的 6%。

圖 5-14 為 ANN-V 波浪推算結果的各場颱風波高峰值的誤差分析，其平均值為-0.24 米，中位數為-0.14 米，標準偏差為 0.81 米，33 個樣本中不通過 95%信賴度的有 5 個，佔全部的 15%。

圖 5-15 為 ANN-P 波浪推算結果的各場颱風波高峰值的誤差分析，其平均值為-0.45 米，中位數為-0.42 米，標準偏差為 1.06 米，33 個樣本中不通過 95%信賴度的有 3 個，佔全部的 9.1%。

由四個模式的波高推算誤差值誤差分析可看出，在最大波高推算時，由 ANN-V 的模式較優。其誤差分析之平均值最低其值為-0.24 米，中位數為-0.14 米，標準偏差為 0.81 米。雖說 ANN-V 模式有 5 場颱風超過 95%的信賴度區間，但是平均值、中位數及標準偏差都是明顯小於其他模式的分析結果。由此可見，以 ANN-V 模式在推算最大波高與實測最大波高誤差上的推算結果較佳。

第六章 結論與建議

6-1 結論

本研究蒐集交通部運輸研究所臺灣技術研究中心提供的臺北港實測波浪與風速資料，與 JMA RSMC-Tokyo Center 所提供的颱風資料，並以颱風與目標點距離(D)、目標點的方位角(θ_1)、颱風侵襲角(θ_3)、目標點計算風速(V_{10})為輸入參數建立類神經颱風波浪推算模式 ANN-B、以颱風與目標點距離(D)、高斯函數轉換後方位角影響度(λ_1)、高斯函數轉換後颱風侵襲角影響度(λ_3)、目標點計算風速(V_{10})為輸入參數建立類神經颱風波浪推算模式 ANN-M、以颱風與目標點距離(D)、波高空間資訊參數(C_h)、利用回歸公式之修正風速(V_c)為輸入參數建立類神經颱風波浪推算模式 ANN-V 以及利用颱風與目標點距離(D)、波高空間資訊參數(C_h)、風速類神經網路推算風速(V_{ann})為輸入參數建立類神經颱風波浪推算模式 ANN-P，並比較四者的差異。

ANN-B 推算驗證組之平均誤差指標 $\Delta H_{s,p}$ 為 0.82 米、 Δt_p 為 14.83 小時、RMSE 為 0.77 米、 R^2 為 0.47。ANN-M 推算驗證組之平均誤差指標 $\Delta H_{s,p}$ 為 0.57 米、 Δt_p 為 14.00 小時、RMSE 為 0.57 米、 R^2 為 0.56。ANN-V 推算驗證組之平均誤差指標 $\Delta H_{s,p}$ 為 0.41 米、 Δt_p 為 5.67 小時、RMSE 為 0.50 米、 R^2 為 0.57。ANN-P 推算驗證組之平均誤差指標 $\Delta H_{s,p}$ 為 0.41 米、 Δt_p 為 5.33 小時、RMSE 為 0.60 米、 R^2 為 0.42。由 ANN-V 模式的推算結果較佳，但此模式模擬較差的情況，有以下幾點結論：

1. 颱風路徑屬於由太平洋側經臺灣東部往東北方向前進至日本，且距目標點較遠的颱風推算結果較差。
2. 最大波高較大之颱風可供類神經學習之資料甚少，導致模式無法對大波高的颱風進行學習與推算。
3. 當颱風由東往西直撲臺灣，穿越中央山脈時，類神經網路無法模

擬颱風受地形影響，因此推算出的波高有誤差。

4. 當波高偏低時，最大波高發生時間便容易產生很大的誤差。
5. 有些颱風的波高訊號震盪較大，所建構的類神經網路無法有效學習及推算出較理想的結果。
6. 5-1 節及 5-2 節所提出的空間資訊參數，因每個颱風的特性不同在建立此參數的空間資訊圖時，無法將大部分的資訊包含在內。再利用內插的方式求得此係數更是會造成此參數錯誤的計算，提供類神經錯誤的資訊，造成錯誤的波高推算結果。
7. 由推算波高峰值的誤差分析可知，ANN-V 模式在推算最大波高與實測最大波高誤差上的推算結果較佳。

6-2 建議

本研究利用波高空間資訊參數輸入類神經網路的輸入參數，使得整體颱風推算結果提升，整體模式仍然有改善的空間。依目前研究的成果提出改進及修正的建議，以利後續研究：

1. 臺北港的風速測量儀器為 10 米上空風速儀，風與浪之間的關係兩者應更加強烈，若輸入參數中的風速能與實測風速資料越相近會增加學習與推算效果。
2. 對於推算結果較差的颱風，我們必須重新檢視其是否適用於模式的學習與推算，而這些颱風屬於特殊案例，或者本研究之輸入參數無法用來描述這些特例颱風，在篩選使用的颱風以及選擇要輸入的參數時，可能需要更仔細判斷。
3. 模式對於大波高颱風之推算結果有較大的誤差，由於臺北港之整體颱風資料皆為波高較小之颱風，在學習上缺乏大波高之颱風資料。若能獨立建立一組針對大波高颱風推算的類神經模式，對於

規模較大、影響度較強之颱風會有較好的推算結果。

4. 建置風速類神經網路時並未驗證模式，因資料數太少，若未來可以將其建置得更完整，可由颱風資訊推得接近實測風速資料的推算風速數據，進而輸入波高類神經網路來增加學習及推算精度。
5. 建立波高空間資訊資料也是有限，本研究以內插方式輸入新的颱風所在位置(經緯度)進而推得波高空間資訊參數，很容易因不同颱風特性的狀況在內插工作時算出錯誤的值，提供類神經網路錯誤的資訊。若能有更多資訊將波高空間資訊網格加密，可減低內插工作時出現的誤差。



參考文獻

1. 張有恒(2006)，“颱風湧浪推算模式之研究”，逢甲大學水利工程學系碩士論文。
2. 郭一羽，「海岸工程學」，文山書局(2001)。
3. 錢維安(2006)“模糊-類神經混合網路之颱風波浪推算模式“，國立交通大學土木工程研究所博士論文。
4. 梁乃匡(2010)，「颱風湧浪預報經驗法的探討」，海洋工程學刊 第10卷 第2期 第87-120頁
5. 林賢銘(2011)“結合歸屬函數之類神經網路颱風波浪推算模式”，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
6. 交通部運輸研究所，2012，「臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(3/4)」，國立交通大學。
7. Bretschneider, C. L., and Tamaye, E. E. (1976) “Hurricane wind and wave forecasting techniques.” *Proceedings of the Fifteenth Conference on Coastal Engineering*, Hawaii, Vol. 1, pp. 202-237.
8. Camargo, S. J., A. W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil, (2007a) “Cluster analysis of typhoon tracks. Part I: General properties.” *J. Climate*, 20, 3635–3653.
9. Camargo, S. J., A. W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil (2007b) “Cluster analysis of typhoon tracks. Part II: Large-scale circulation and ENSO,” *J. Climate*, 20, 3654-3676.
10. Deo, M.C., Sridhar Naidu, C. (1999) “Real time wave forecasting using neural networks,” *Ocean Engineering*, Vol. 26, No. 3, pp. 191-203.
11. Deo, M.C., Kiran Kumar, N. (2000) “Interpolation of wave heights.” *Ocean Engineering*, Vol. 27, No. 9, pp. 907-919.

12. Deo, M.C., Jha, A., Chaphekar, A.S., Ravikant, K. (2001)“Neural networks for wave forecasting,” *Ocean Engineering*, Vol. 28, No. 7, pp. 889-898.
13. Deo, M.C., Gondane, D. S., and Sanil Kumar, V. (2002)“Analysis of wave directional spreading using neural networks,” *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 128, No. 1, pp. 30-37.
14. Deo, M.C., Jagdale, S.S. (2003) “Prediction of breaking waves with neural networks,” *Ocean Engineering*, Vol.30,No. 9, pp. 1163-1178.
15. Huang, W., and Foo, S. (2002) “Neural network modeling of salinity variation in Apalachicola River,” *Water Research*, Vol. 36, 356-362.
16. Knaff, J.A., C. R. Sampson, M. DeMaria, T. P. Marchok, J. M. Gross, and C. J. McAdie, 2007: Statistical Tropical Cyclone Wind Radii Prediction Using Climatology and Persistence, *Wea. Forecasting*, 22:4, 781–791.
17. Mirchandani, G., Cao, W., (1989) “On hidden nodes for neural nets,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Vol.36 (5), pp.661 -664.
18. Moller M, (1993) “A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning”, *Neural Networks*, 6(4), 525-533.
19. Makarynskyy, O.,2004, “Improving wave prediction with artificial neural networks. ” *Ocean Engineering* 31 (5-6); 709-724
20. Olaf, N. And Hannah,F.,(2013) “Estimation of the frequency of historic wind speeds of cyclones using an open-source geographical information system(GIS) for region 8 in the PHILIPPINEES.” *Proceedings of the 2nd Philippine Geomatics Symposium (PhilGEOS) 2013: Geomatics for a Resilient Agriculture and Forestry* November 28-29, 2013.

21. Prechelt, L. (1998) "Early stopping-But when?" *Neural Networks: Tricks of the Trade*, 553-543.
22. Phadke, A.C., Martino, C.D., Cheung, K.F., Houston, S.H., (2003) "Modeling of tropical cyclone winds and waves for emergency management." *Ocean Engineering* 30 (2003) P.553–P.578.
23. Rodolfo, Georges, Paulo ,Gustavo, Gabriel (2002) "Oceanographic Vulunerability to Hurricanes on the Mexican Coast", *Coastal Engineering, Proceedings of the 28th International Conference*.
24. SWAMP Group (24 Authors) (1985) *Ocean Wave Modeling*, Plenum Press, New Pork, 256 pp.
25. Sarle, W.S. (1995) "Stopped Training and Other Remedies for Overfitting," *Proceedings of the 27th Symposium on the Interface of Computing Science and Statistics*, 352-360.
26. Tolman, H.L., (1999) *User manual and system documentation of WAVEWATCH-3*, version 1.18, NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note 166.
27. WAM model (1988) "WAMDI group A Third generation ocean wave prediction model," *Journal of Physical Oceanography*, Vol.18, pp.1775-7810.
28. Young, I. R. (1988a) "Observations of the spectra of hurricane generated waves," *Ocean Engineering*, Vol. 25, pp. 261-276.