香港天文台
HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 748

先進客觀德沃夏克技術（ADT）及其在分析 2007 年西北太平洋和南海熱帶氣旋的表現

蘇志權

第二十二屆粵港澳氣象科技研討會，
中國，中山，2008 年 1 月 22 - 23 日

先進客觀德沃夏克技術(ADT)
及其在分析 2007 年西北太平洋和南海
熱帶氣旋的表現

蘇志權
香港天文台

摘要

西北太平洋和南海每年均受到熱帶氣旋的影響。分析熱帶氣旋的強度是一項重要的天氣預報業務工作，「德沃夏克(Dvorak)」分析方法是較通用的方法之一。它是基於客觀的衛星數據，按雲團的溫度和形態判斷熱帶氣旋的強度。但不同的預報員在判斷雲團形態時或有差異，導致不同的分析結果。天文台在 2007 年購置的 MTSAT 衛星新接收系統引進了「先進德沃夏克技術」(ADT)。該技術是由威斯康辛麥迪遜大學氣象衛星合作研究所(CIMSS)發展的。ADT 利用電腦程式客觀地識別雲團形態種類，計算風眼/對流雲團的溫度，並選擇適用規則，估算熱帶氣旋的強度。這技術可以自動化，免除主觀判斷的成份。

本文介紹 ADT 的自動化分析技術，並利用它來分析 2007 年影響西北太平洋及南海的熱帶氣旋，並與天文台預報員的德沃夏克分析結果作比較。結果有助預報員掌握 ADT 的特性及其應用。

Advanced Dvorak Technique
and its performance in analysing tropical cyclones
over Northwest Pacific and South China Sea in 2007

C K So
Hong Kong Observatory

Abstract

Tropical cyclones affect the northwest Pacific and the South China Sea every year. Analysis of tropical cyclone intensity is an important task in weather forecasting operation. “Dvorak analysis” is one of the most common tools. It is based on objective satellite information such as cloud temperature and cloud pattern type to determine the tropical cyclone intensity. Yet, different forecasters may have different judgment on the cloud patterns, leading to different results of analysis. The new MTSAT satellite reception system acquired by the Hong Kong Observatory in 2007 incorporates an “Advanced Dvorak Technique (ADT)” developed by the University of Wisconsin-Madison / Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS). ADT makes use of computer-based algorithms to objectively identify cloud pattern types, calculate the eye/convective cloud temperatures, apply selection rules, and derive intensity estimate for tropical cyclones. It can be automated, obviating the need for subjective judgment.

This paper introduces the automatic algorithms of ADT and uses this technique to analyze tropical cyclones over the northwest Pacific and the South China Sea in 2007. The results of analysis are compared with those made by the forecasters of the Observatory based on Dvorak analysis. The findings are useful for forecasters to better understand the characteristics and applications of ADT.

1. 引言

西北太平洋及南海每年均受到熱帶氣旋的影響，為這些地區帶來不同程度的災害。分析熱帶氣旋的強度及向公眾發出準確的熱帶氣旋警告是天文台一項重要的業務工作，而德沃夏克(Dvorak)分析方法是較通用的分析方法之一。德沃夏克分析方法是源自德沃夏克(文獻[1])提出的一套分析方法，它是基於客觀的衛星數據，利用綜合流程圖的方法，按雲團的溫度和形態判斷熱帶氣旋的強度。但不同的預報員在判斷雲團形態時或有差異，導致不同的分析結果。

天文台在 2007 年中購置的 MTSAT 衛星新接收系統引進了「先進德沃夏克技術」(Advanced Dvorak Technique, ADT)。該技術是由威斯康辛麥迪遜大學氣象衛星合作研究所(CIMSS)發展的。ADT 利用電腦程式客觀地自動估算熱帶氣旋的強度，免除主觀判斷的成份。

本文第二節介紹 ADT 的自動化分析技術。第三及第四節展示 ADT 分析 2007 年影響西北太平洋及南海的熱帶氣旋的結果，以及與天文台預報員的分析作比較的統計結果。第五節介紹一些熱帶氣旋個案。第六節討論 ADT 的特性及其應用。

2. ADT 的自動化分析技術

為減少判斷熱帶氣旋雲團形態時的主觀成分，CIMSS 在 1998 年按德沃夏克分析方法發展了一套客觀熱帶氣旋強度估計的技術(文獻[2])。此技術被稱為客觀德沃夏克技術(Objective Dvorak Technique, ODT)。隨後，該技術不斷改進，最新的版本被稱為先進德沃夏克技術(ADT; 文獻[3])。ADT 能夠客觀地執行熱帶氣旋形態辨識、估計氣旋中心與外圍對流區溫度的差異程度，然後引用一些統計迴歸所獲得的規則來自動估計熱帶氣旋的強度。

圖一至三顯示 ADT 的操作流程：主要流程部分、形態種類訂定部份及強度估計部分。簡單來說，ADT 會先定出熱帶氣旋的中心位置，方法是利用熱帶氣旋路徑的預報(如聯合颱風警報中心的預報)經內插方法來推算熱帶氣旋當時的中心位置。若果沒有熱帶氣旋路徑的預報，則會利用熱帶氣旋過去的位置作線性外推當時中心的位置。若果最近一次分析的熱帶氣旋的最後強度估計值(T 數)超過 3.5 的話，亦即熱帶氣旋達強烈熱帶風暴強度，則會額外利用下面方法進一步分析熱帶氣旋的中心位置:

（甲）螺旋中心分析法(spiral centering analysis): 這是基於熱帶氣旋中心附近雲帶的彎曲情況來決定其中心位置，與預報員利用螺旋線定出熱帶氣旋中心的方法是一致的；

（乙）風眼圓圈擬合分析法(eye ring fitting analysis): 這方法利用不同大小的圓圈來擬合雲溫度梯度的曲線，以決定熱帶氣旋的中心位置。

值得注意的是:ADT 可以全自動分析熱帶氣旋的中心位置，亦容許用家自行輸入數據。

在估計熱帶氣旋的中心位置後，ADT 會自動分析熱帶氣旋之形態，這是通過快速傅里葉轉換(Fast Fourier Transform)方法來分析熱帶氣旋的風眼區域(離中心 0-24 km)及其附近對流雲區(離中心 24-136 km)的溫度，計算出風眼區域溫度的標準偏差值以及對流雲區的對稱度，來判別熱帶氣旋的形態(見圖二)。表一列出 ADT 的形態分類。

ADT 按熱帶氣旋的形態，選用不同的迴歸方程來估計熱帶氣旋的強度。ADT 亦會利用該熱帶氣旋的歷史數據(如過去強度變化)來修訂強度的估計值(見圖三)。有關 ADT 的具體分析方法，可參考文獻[3-4]。

值得注意的是，原來的德沃夏克分析方法對於熱帶氣旋減弱時所作出的強度減弱估計是有限制的，比如在颱風開始減弱的 12 小時內是不允許降低颱風強度的估計值。ADT 亦有類似的限制，但經研究後將限制調節得較寬鬆(文獻[5])：

（甲）雲團形態的熱帶氣旋(包括彎曲雲帶及中心密雲型的熱帶氣旋)：
(i) 6 小時內強度改變在 0.5 以下;
(ii) 12 小時內強度改變在 1.0 以下;
(iii)18 小時內強度改變在 1.5 以下;及
(iv) 24 小時後強度改變在 2.0 以下。

（乙）而風眼形態的熱帶氣旋：
(i) 6 小時內強度改變在 1.5 以下、;
(ii) 12 小時內強度改變在 2.0 以下;
(iii)18 小時內強度改變在 2.5 以下;及
(iv) 24 小時後強度改變在 3.0 以下。

這些較寬鬆的強度減弱限制是值得預報員參考的。

3. 數據及分析方法

當熱帶氣旋中心位於北緯7至36度，東經100至140度之間的範圍，天文台會監測熱帶氣旋的位置及發出72小時的預測路徑圖。本文研究2007年位於上述範圍內的15個熱帶氣旋(見表二)，利用ADT自動推導出最後強度估計值(即T數)，並與預報員的德沃夏克分析的T數作比較。雖然ADT能自動追蹤及估計熱帶氣旋的中心位置，但由於希望探討ADT在分析熱帶氣旋強度方面的表現，我們直接採用預報員分析的中心位置，以人手輸入ADT程式，目的是去除兩種方法因估計熱帶氣旋中心位置不同而引致的差異。

4. 比較結果

表二列出ADT所估計之T數相對於預報員利用德沃夏克分析方法所估計之T數的平均偏差值(Bias)與均方根差異值(Root Mean Square Difference)。就所有個案整體而言，ADT較預報員的德沃夏克分析所估計的T數高出約0.2，亦即自動化的ADT傾向輕微高估熱帶氣旋的強度。圖四是ADT與預報員的德沃夏克分析的T數散佈圖，顯示當熱帶氣旋較弱時(即預報員的德沃夏克分析的T數少於4.0時)，ADT傾向高估熱帶氣旋的強度。而當熱帶氣旋較強時，ADT的估計強度較預報員的為低。

整體的T數的均方根差異值為0.9。個別熱帶氣旋的T數的均方根差異值亦相當接近，介乎0.7與1.0之間。這表示ADT在分析不同熱帶氣旋的表現是較為穩定的。

表三顯示按熱帶氣旋級別(以預報員的分析為基準)來比較ADT的T數與預報員的德沃夏克分析的T數。級別分類如下:

（甲） 預報員分析的T數介乎１.0至2.5 ： 熱帶低氣壓;
（乙） 預報員分析的T數為3.0 ： 熱帶風暴;
（丙） 預報員分析的T數介乎3.5至4.0 ： 強烈熱帶風暴;
（丁） 預報員分析的T數等如或大於4.5 ： 颱風。

從分析結果可見，對於熱帶低氣壓，ADT的T數平均偏差值為0.9，較其他級別的平均偏差值明顯較大，即ADT傾向高估熱帶低氣壓的強度。以熱帶低氣壓的數據數目來算， ADT高估的數目的百分比達70%。

對於颱風來說，ADT傾向低估T數，平均偏差值為-0.4。當然，這是相對預報員的分析而言。一般來說，預報員應用德沃夏克分析方法，在分析一些開始減弱的颱風時是受到該方法的一些限制的，比如在颱風開始減弱的12小時內是不允許降低颱風強度的估計值的，而強度估計值的降低速度亦有

規限。一些出現的情況是，ADT的強度估計值傾向較早下降(如圖十六)，詳情見下節的個案分析。

值得注意的是，熱帶低氣壓和颱風的T數均方根差異值較高，達0.8。而熱帶風暴和強烈熱帶風暴的T數均方根差異值較低，表示當熱帶氣旋達熱帶風暴和強烈熱帶風暴的強度時，ADT的分析結果較接近預報員的分析。

5. 個案分析

5.1 強度較弱的熱帶氣旋

范斯高、桃芝、蝴蝶及法茜是2007年強度較弱的熱帶氣旋，其中只有法茜的強度達至強烈熱帶風暴程度，其餘的均在熱帶風暴的級別或以下。圖五是范斯高以ADT及預報員利用德沃夏克法分析的T數時間序列。可以見到大部份時間的ADT分析強度較預報員分析的為高，平均偏差值有0.7。特別是在預報員分析的T數在2.5或以下(熱帶低氣壓)時，ADT分析的T數明顯較預報員的高，最大的偏差達2.5。

圖六至八是桃芝、蝴蝶及法茜的ADT及預報員的德沃夏克法分析的T數時間序列，同樣地顯示ADT分析都較預報員的分析的高。桃芝的平均偏差值為1.0，蝴蝶及法茜的平均偏差值為0.9。若排除范斯高、桃芝、蝴蝶及法茜等４個熱帶氣旋，餘下11個熱帶氣旋的ADT總強度估計平均偏差值會由0.2下降至0.1，均方根差異值亦從0.9下降至0.8。從紅外光衛星雲圖可見(圖九至十二)，上述四個熱帶氣旋的環流組織較為鬆散，中心位置亦較難確定，外圍對流雲結構不大對稱。因此預報員與ADT分析方法所判斷的雲團型態可能出現較大的差異，以致強度估計有所不同。

從圖六可見，部分時間沒有ADT分析的數據。這是由於ADT分析方法在設計上不適用於登陸的熱帶氣旋，而該段時間內桃芝正橫過海南島。

5.2 較強的熱帶氣旋

萬宜、羅莎、聖帕及韋帕是較強的熱帶氣旋，它們的強度曾達颱風級別。圖十三至十六是ADT及德沃夏克法分析T數的時間序列。萬宜的平均偏差值為0.0，聖帕及韋帕的平均偏差值為0.2，而羅莎的平均偏差值為-0.2。它們的偏差值相對強度較弱的熱帶氣旋為低（見五・一節）。這是由於颱風的風眼中心定位較為明顯，而且外圍對流雲區的對稱度亦較高，所以預報員與ADT分析熱帶氣旋的形態較一致，而估計的T數亦接近。

當上述四個熱帶氣旋在發展初期(預報員分析的 T 數在 3.0 或以下)，ADT 一般傾向高估熱帶氣旋的強度，這與五．一節討論較弱熱帶氣旋的結果是一致的。當強度增至 T 數 3.0 或以上，ADT 與德沃夏克分析的相差減少，但在颱風開始減弱時，預報員跟據德沃夏克分析方法的限制，只能把 T 數的變化在一段時間內控制在固定的水平上。而 ADT 系統雖然也有同樣的限制，但限制較寬鬆，能更快調低強度的估計值，導致 ADT 看來低估了颱風在後期的 T 數。

6. 討論

天文台的 MTSAT 衛星新接收系統提供了一個相當友善的介面讓預報員操作 ADT 分析。預報員只需按滑鼠輸入熱帶氣旋的中心經緯度，系統即可計算出熱帶氣旋之強度估計 T 數，6 小時加權平均和 3 小時加權平均 T 數、海平面氣壓及最大風速(圖十七)，相當方便。

ADT 在處理強度曾達颱風程度的熱帶氣旋時，與預報員有較一致的分析結果。而當熱帶氣旋環流雲團的對稱度較低或其中心位置不太確定時，ADT 與預報員分析的結果出現較大之偏差，尤其以 T 數在 2.5 或以下(熱帶低氣壓)的準確度較低。事實上，大多數以德沃夏克分析方法定為熱帶低氣壓的熱帶氣旋，其 ADT 的估計值達 3.0 或以上。分析個案亦顯示當颱風減弱時，ADT 因實際情況能較德沃夏克分析更快調低颱風的強度，這是值得預報員參考的。

從 2007 年的個案來看，ADT 相對預報員的德沃夏克分析的平均偏差值只有 0.2，而總均方根差異值在 0.9，與文獻[6] 利用 ODT(即 ADT 的前身)分析 2001 年的 7 個熱帶氣旋的表現(平均偏差值 0.5，總均方根差異值 0.9)差不多。

由於平均偏差值較低，ADT 在業務上估計熱帶氣旋強度有一定的參考價值。在具體應用 ADT 的分析結果時，預報員應注意以下數點:

（甲） 當熱帶氣旋位於陸地時，ADT 方法是不適用的；
（乙） 當熱帶氣旋在初段發展時，ADT 傾向高估強度；
（丙） 當熱帶氣旋的強度達熱帶風暴或以上時，ADT 的分析是很有參考價值的；
（丁） 當 ADT 估計颱風的 T 數開始下降時，這是熱帶氣旋減弱的信息。

本文採用了預報員的熱帶氣旋定位來作 ADT 分析。未來仍要收集更多的熱帶氣旋個案，並利用熱帶氣旋的後分析數據，包括綜合各類觀測資料後分析的最佳定位來進一步評定 ADT 的表現。亦從中找出一些修正估計值的法則，以修正 ADT 在分析較弱的熱帶氣旋時的表現，以增強 ADT 在業務上的應用。

7. 參考文獻

[1] Vernon F. Dvorak, 1984, NOAA Technical Report NESDIS 11, "Subjective Dvorak Intensity Classification technique Tropical Cyclone Intensity Analysis Using Satellite Data"

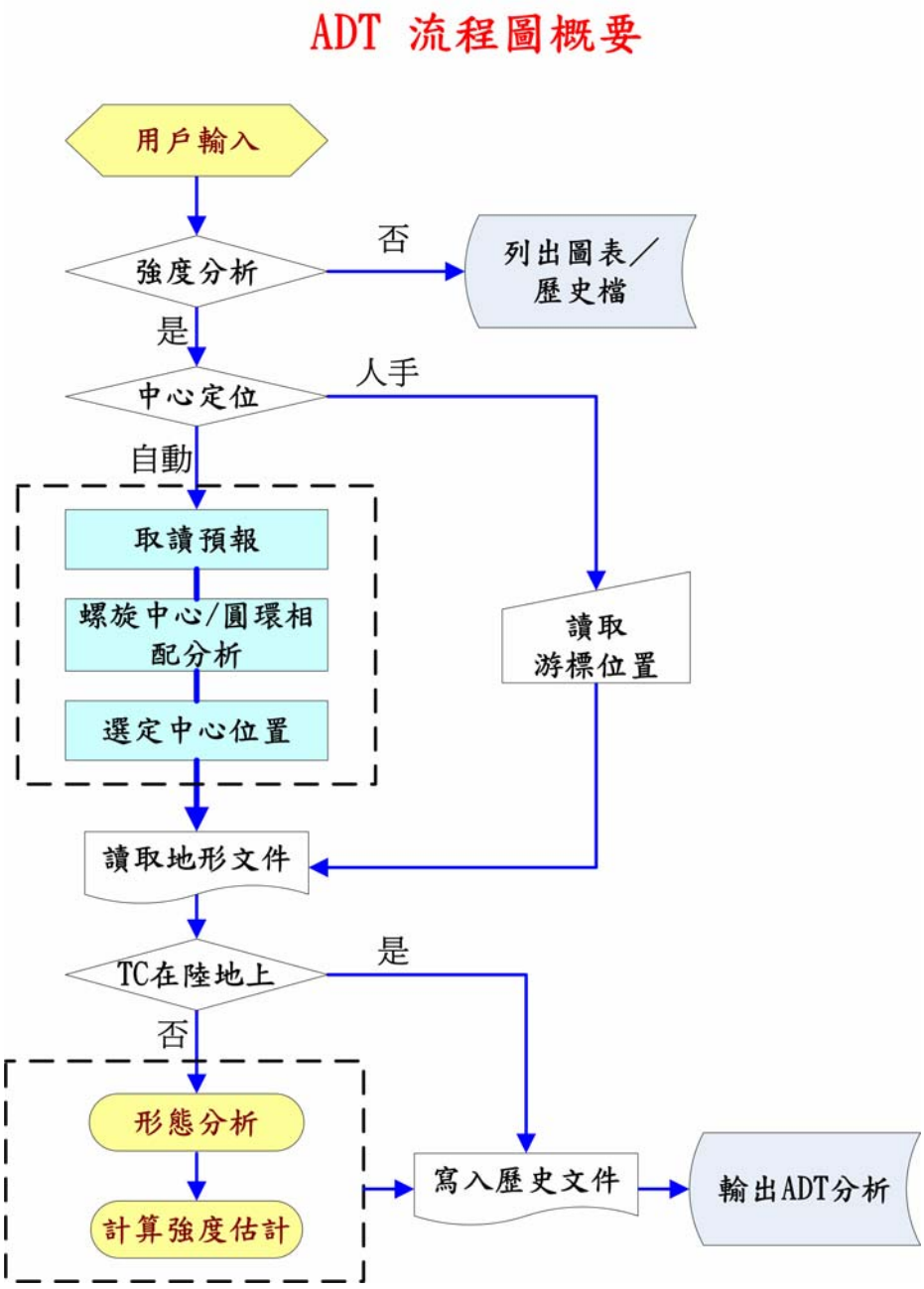
[2] Velden, C.S., T.L. Olander, and R.M. Zehr, 1998, "Development of an objective scheme to estimate tropical cyclone intensity from digital geostationary satellite infrared imagery". *Wea. and Forecasting*, **13**, 172-186

[3] Olander, T.L. and C.S. Velden, 2007, "The Advanced Dvorak Technique (ADT) – continued development of an objective scheme to estimate tropical cyclone intensity using geostationary infrared satellite imagery", *Wea. and Forecasting*, **22**, 287-298

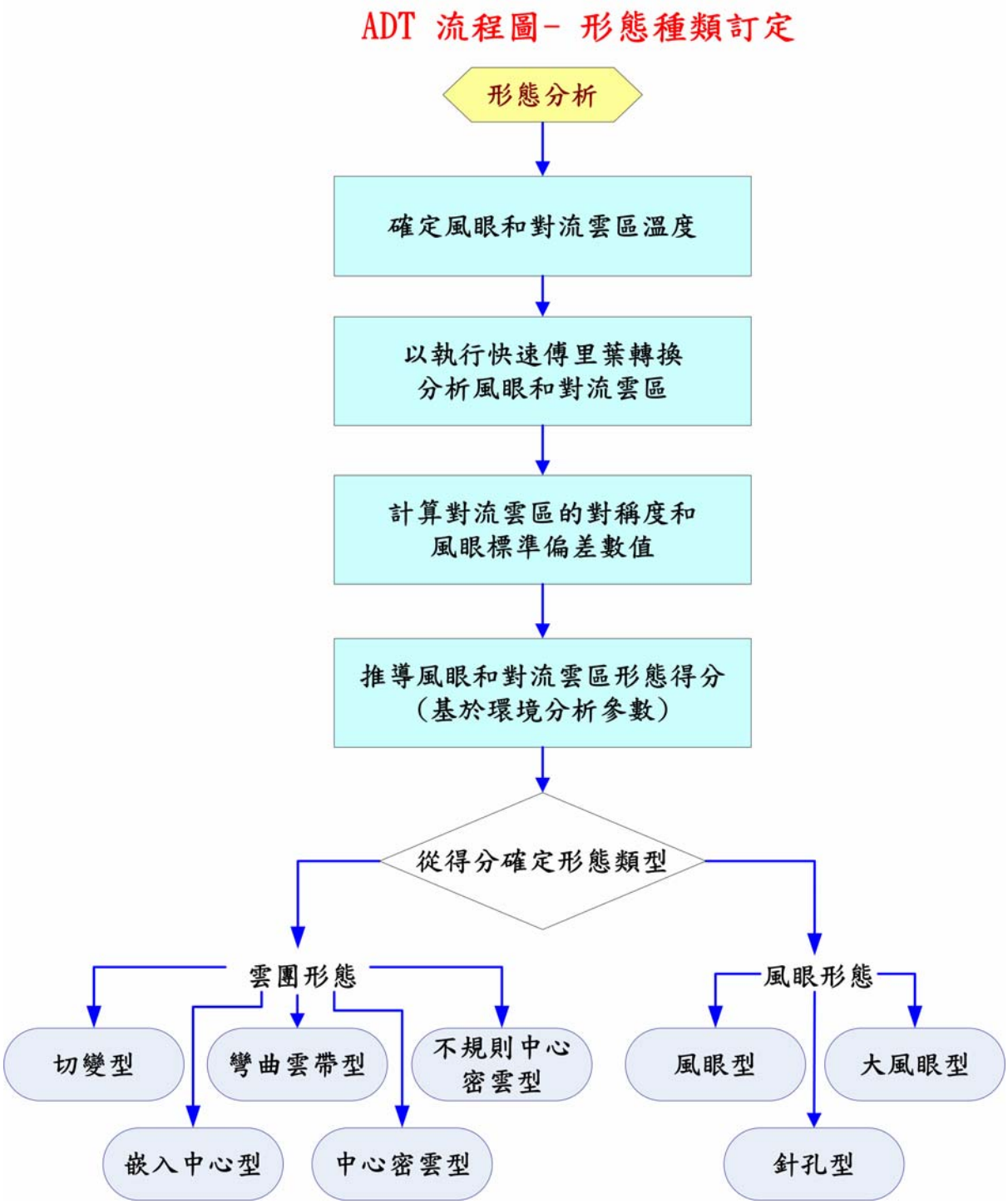
[4] Velden,C.S., Ray Zehr and Jeff Hawkins, 2006, Tutorial on the use of satellite data to define TC structure, International Workshop on Tropical Cyclones, San Jose, Costa Rica

[5] Olander, T.L. and C.S. Velden, 2006, "ADT Advanced Dvorak Technique USERS GUIDE".

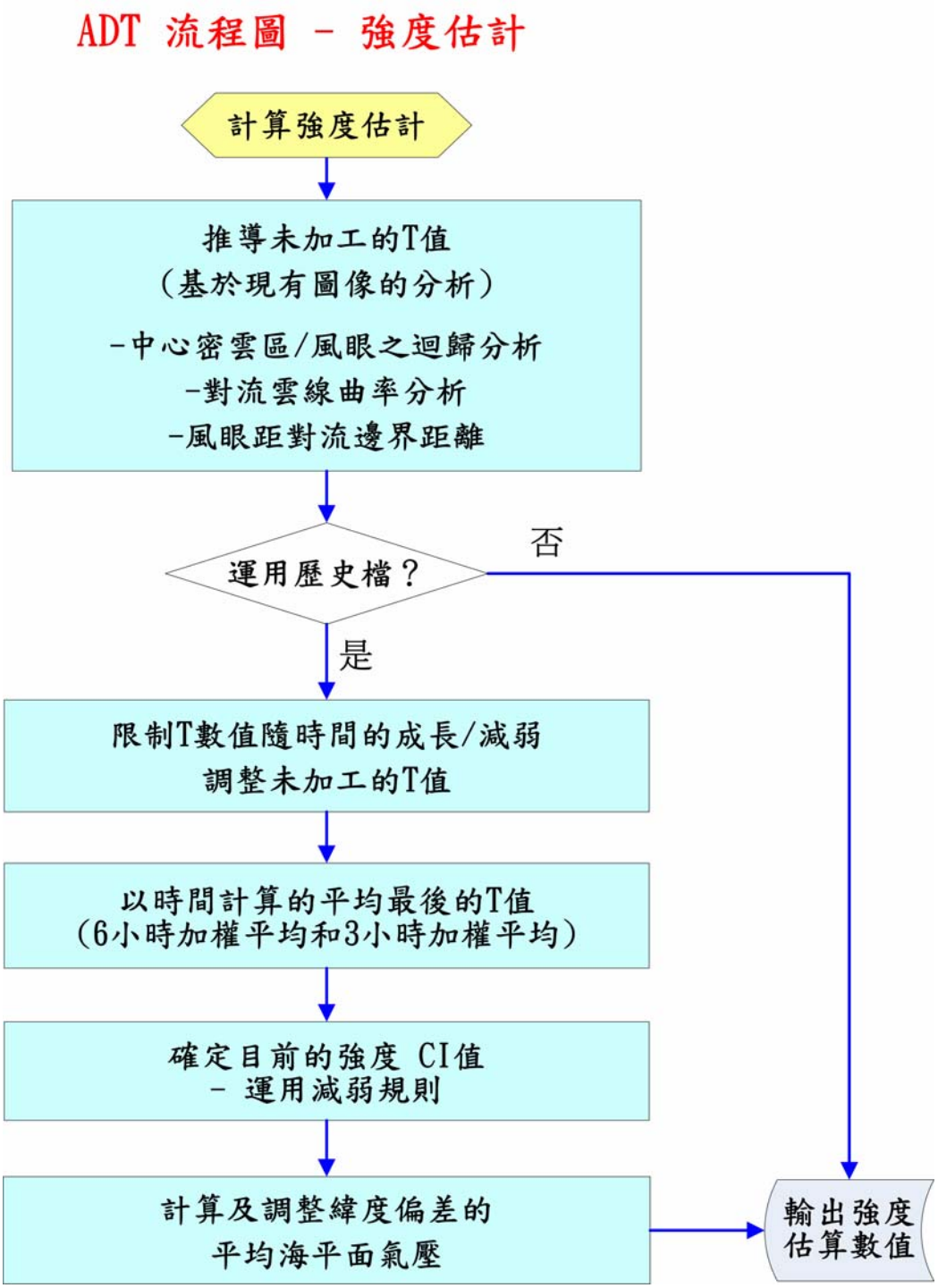
[6] 劉振榮、顏泰崇、陳嘉榮, 2001, 台灣行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (NSC90-2625-Z-052-002)－應用紅外線資料的客觀方法估計颱風強度與降雨量(一)。


ADT 流程圖概要
用戶輸入
強度分析
否
列出圖表／
歷史檔
是
中心定位
人手
自動
取讀預報
螺旋中心/圓環相
配分析
選定中心位置
讀取
游標位置
讀取地形文件
TC在陸地上
是
否
形態分析
計算強度估計
寫入歷史文件
輸出ADT分析

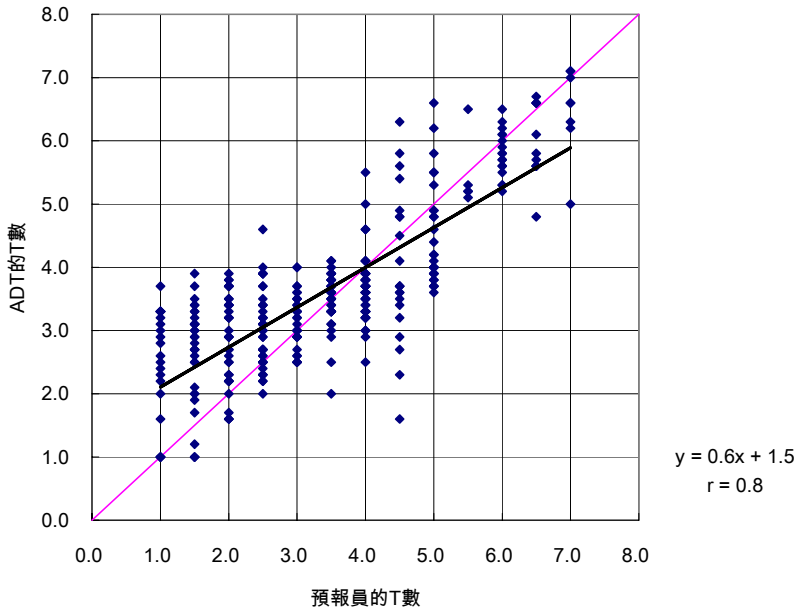
圖一： ADT 流程圖概要



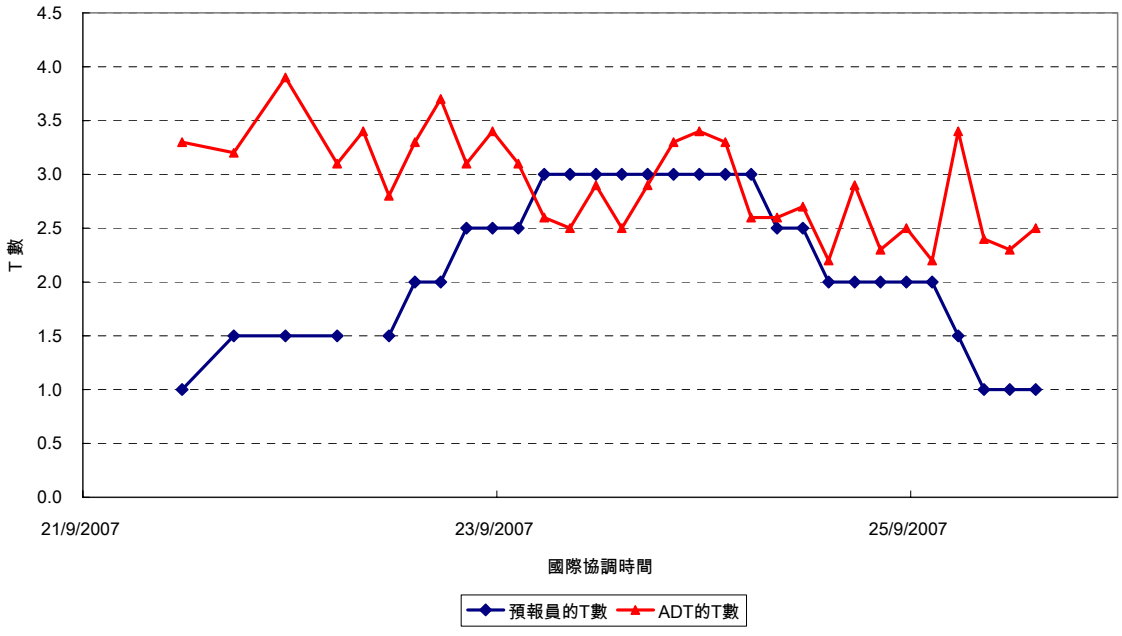
圖二　：　ADT 流程圖- 形態種類訂定



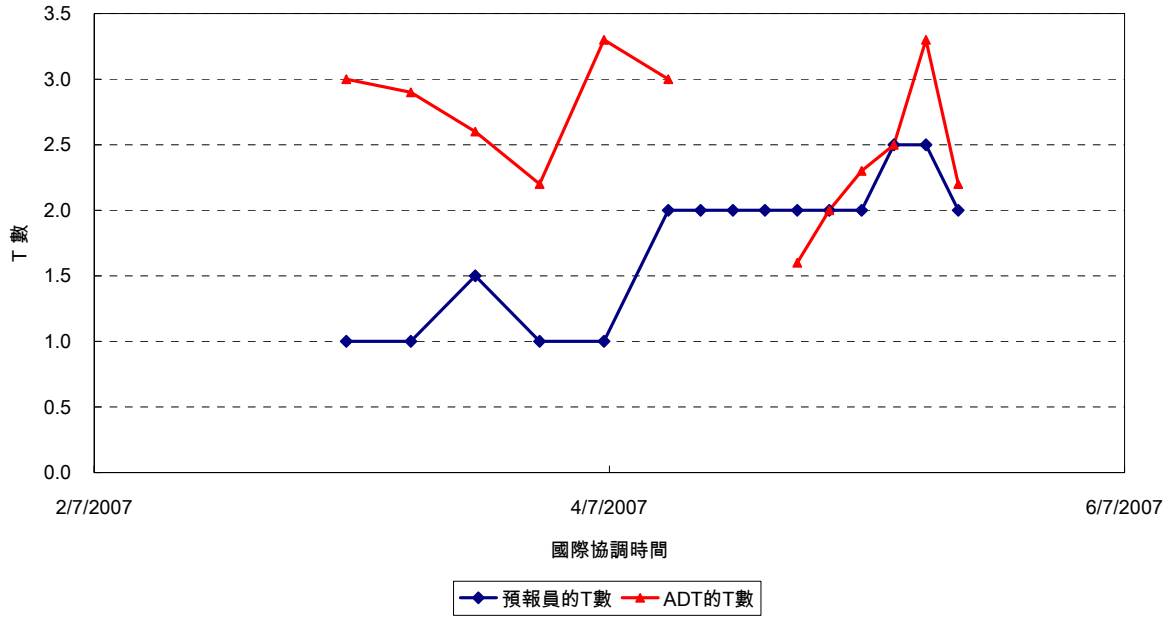
圖三　：　ADT 流程圖 - 強度估計



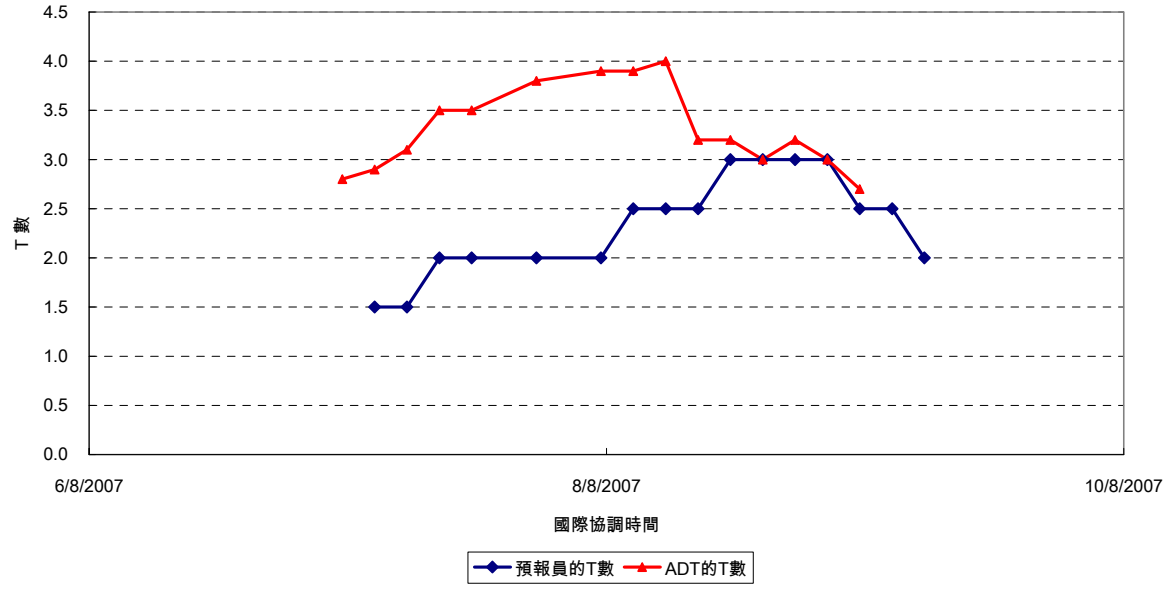
圖四： T 數散佈圖



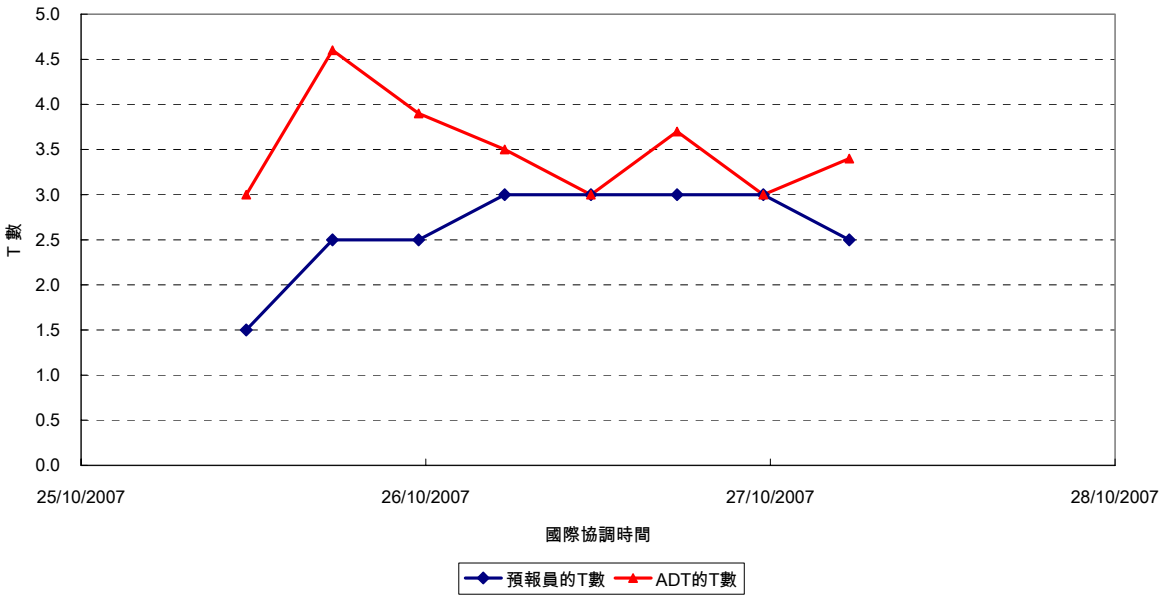
圖五 T 數時間序列 – 范斯高



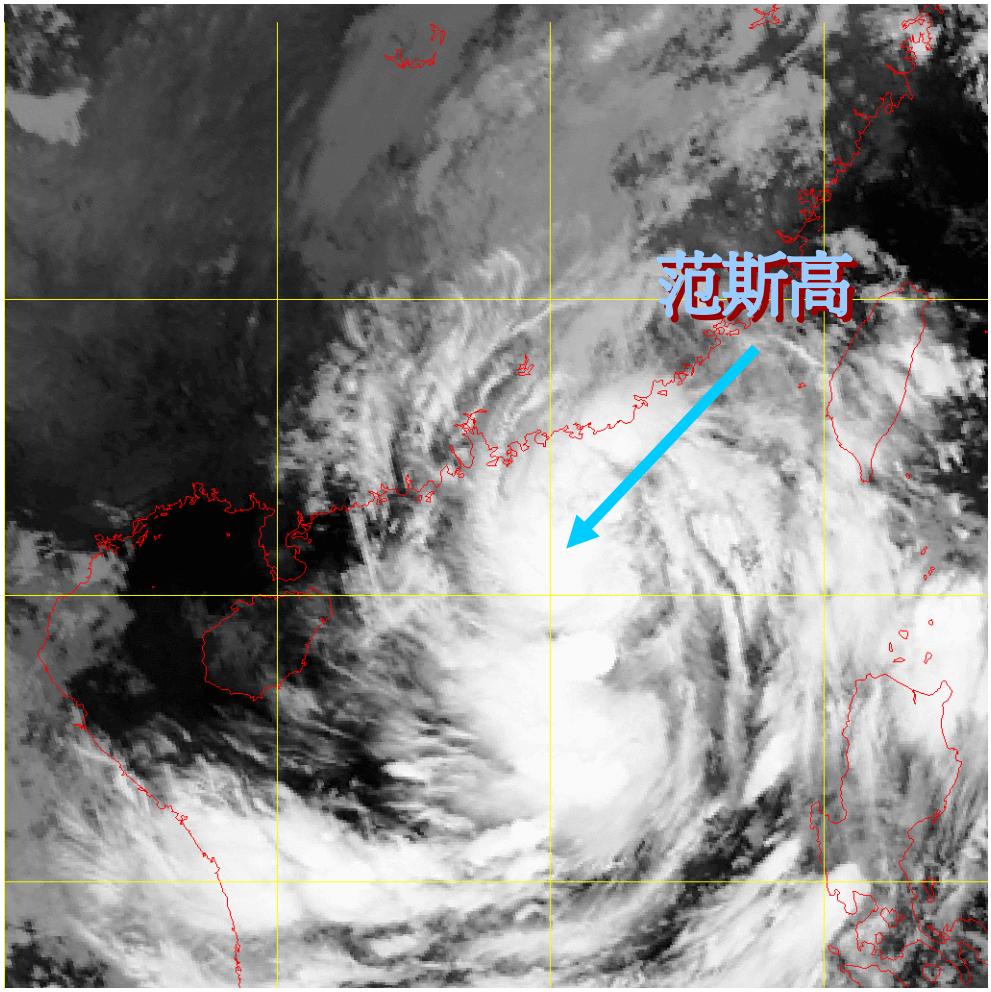
圖六　T 數時間序列 – 桃芝 (部分時間桃芝登陸，ADT 沒有分析數據)



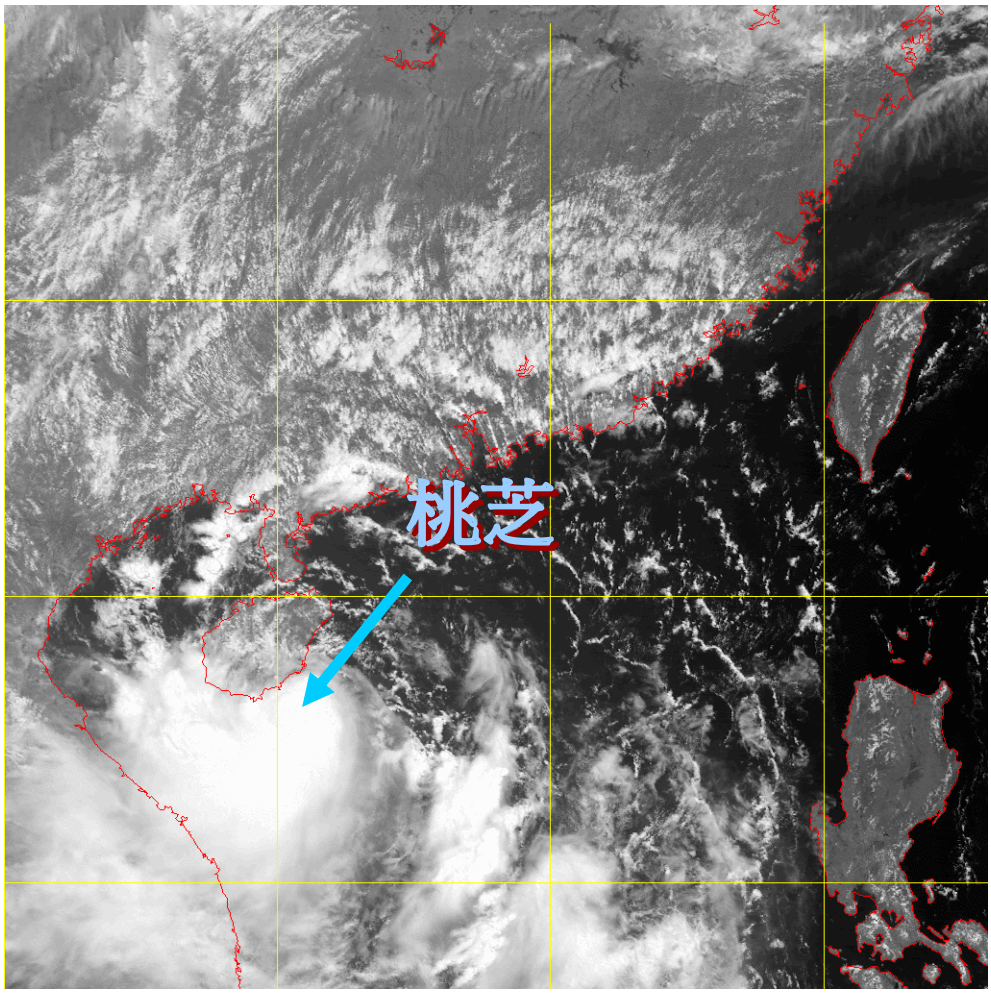
圖七　T 數時間序列 – 蝴蝶 (尾段時間蝴蝶登陸，ADT 沒有分析數據)



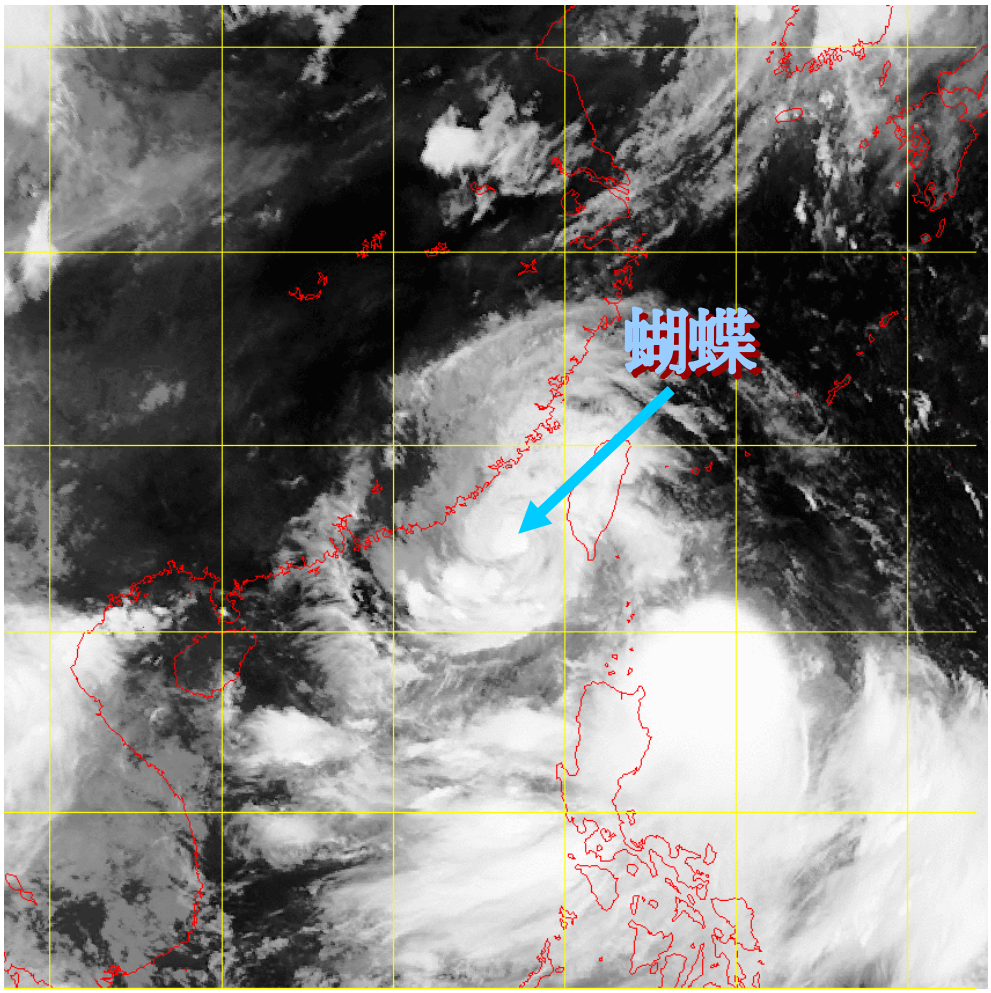
圖八　T 數時間序列 – 法茜



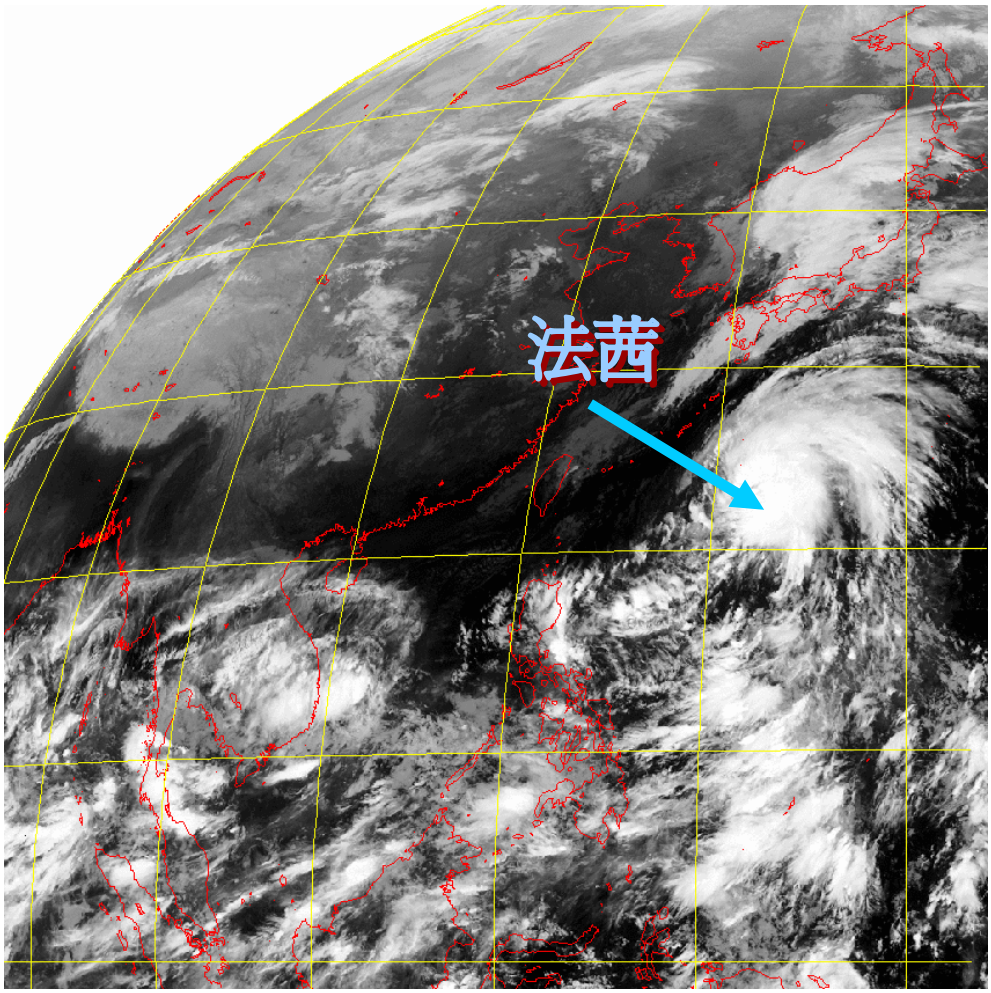
圖九　2007 年 9 月 22 日 21 UTC 紅外光衛星圖像



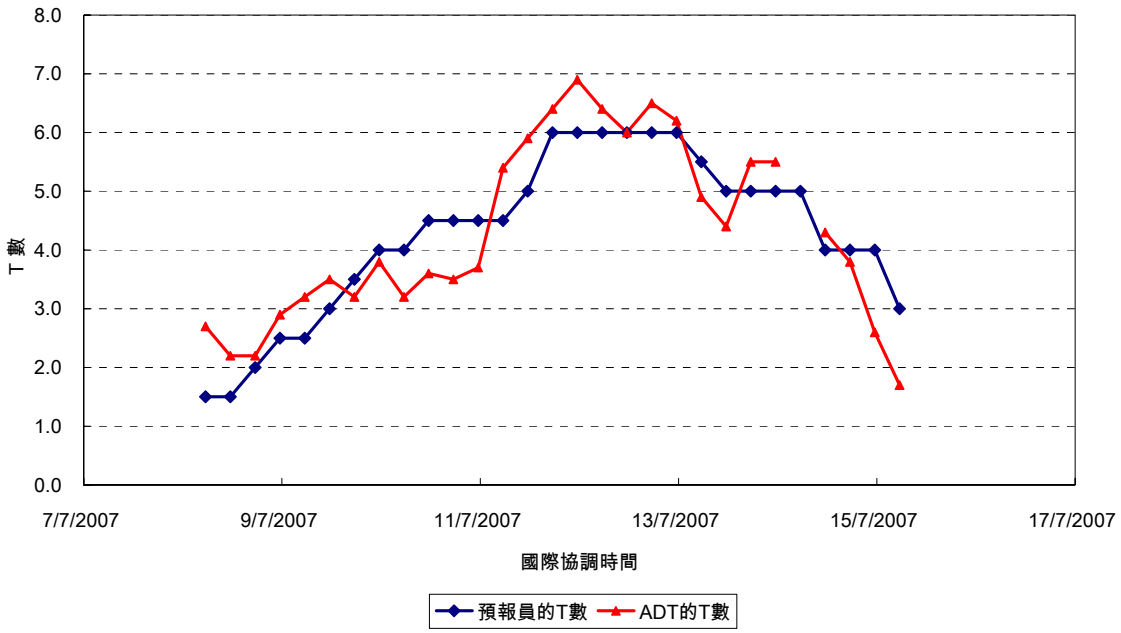
圖十　2007 年 7 月 4 日 03 UTC 可見光衛星圖像



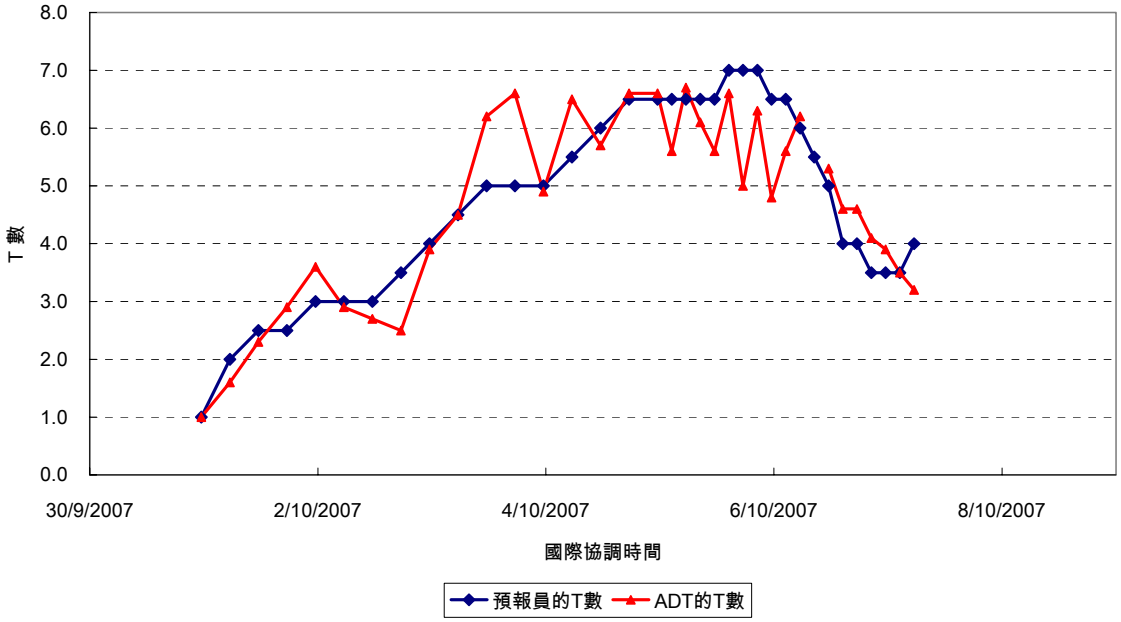
圖十一　2007 年 8 月 7 日 23 UTC 紅外光衛星圖像



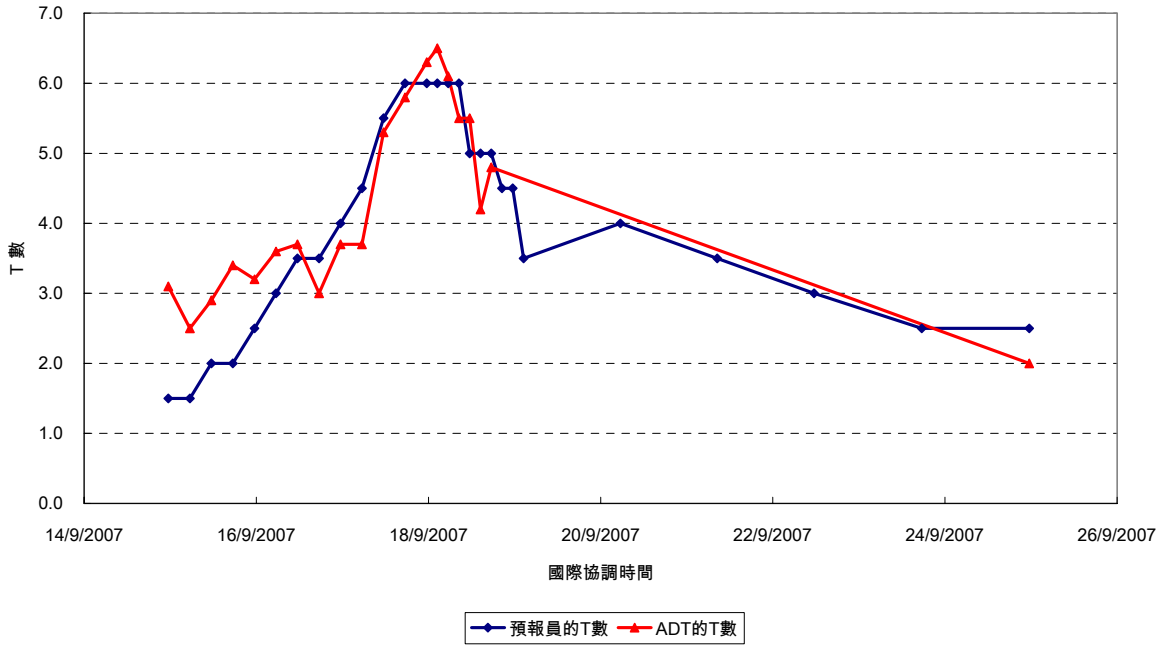
圖十二　2007 年 10 月 26 日 00 UTC 紅外光衛星圖像



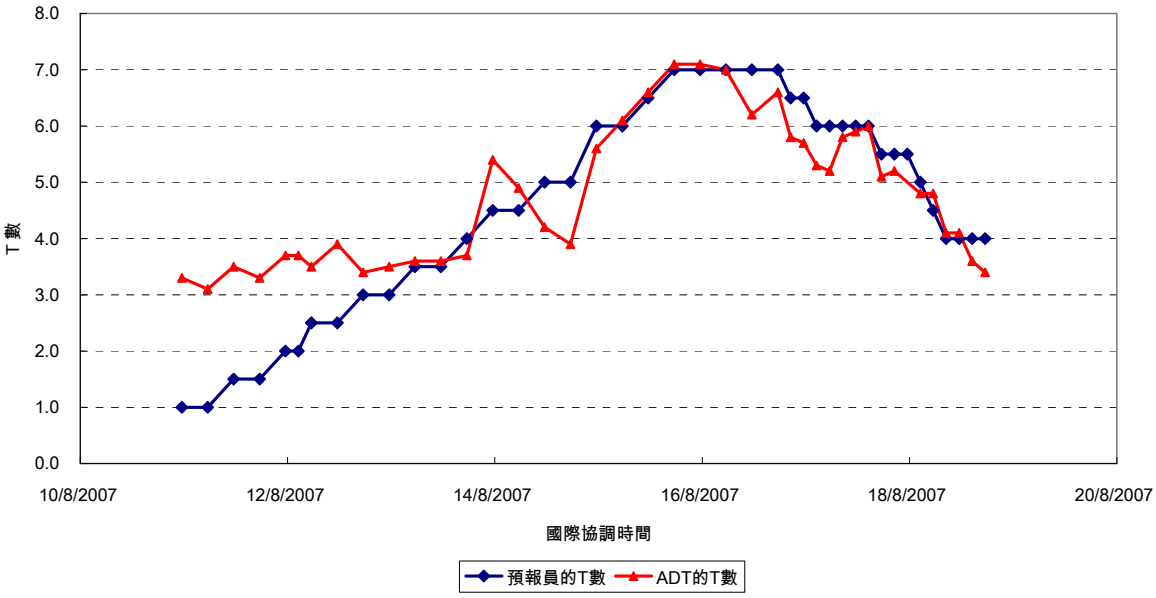
圖十三　T 數時間序列 – 萬宜　(部分時間萬宜經過陸地，ADT 沒有分析數據)



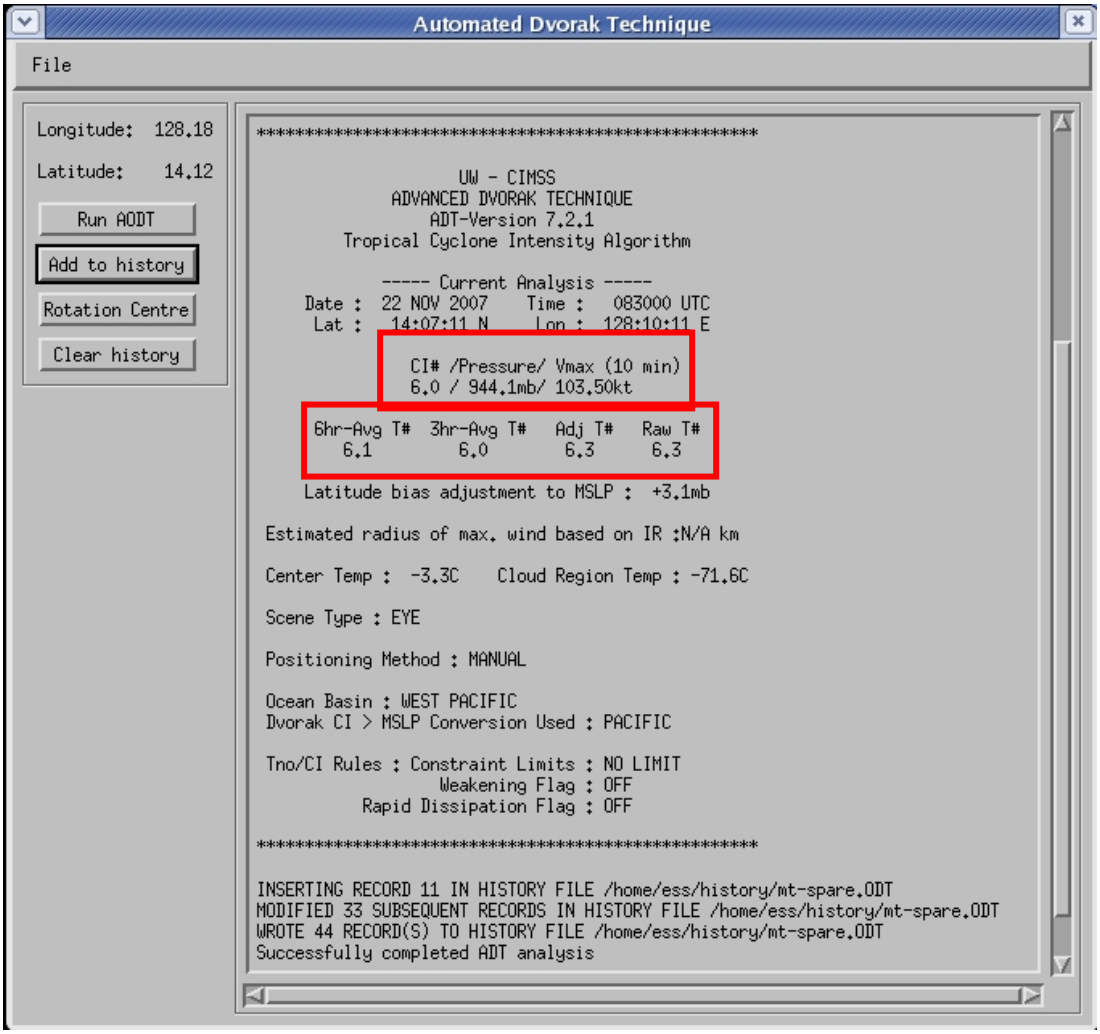
圖十四　T 數時間序列 – 羅莎 (部分時間羅莎經過陸地，ADT 沒有分析數據)



圖十五　T 數時間序列 – 韋帕 (部分時間韋帕經過陸地，ADT 沒有分析數據)



圖十六　T 數時間序列 – 聖帕



圖十七　ADT 自動分析結果的例子

表一　ADT 的熱帶氣旋形態分類

形態	*描述*
風眼類型	
風眼型(Eye)	任何風眼(清晰、參差不齊、隱蔽)
大風眼型(Large)	清晰明確風眼，直徑大於 45 公里
針孔型(Pinhole)	非常小的風眼/顯著的溫暖圓點
雲團類型	
中心密雲型 (Central Dense Overcast)	密雲區域溫度均勻
嵌入中心型 (Embedded centre)	弧形對流雲位於中心密雲區域內
不規則中心密雲型 (Irregular Central Dense Overcast)	雲團在熱帶氣旋中心上，但覆蓋範圍出現較大的遷移
彎曲雲帶型(Curved Band)	弧形對流雲圍繞旋轉中心
切變型(Shear)	對流雲遠離，暴露出旋轉中心

表二　2007 年位於西北太平洋及南海的熱帶氣旋

熱帶氣旋名稱		*時間*	*T數的平均偏差值*	*T數的均方根差異值*
(一)	桃芝(Toraji)	7月2~5日	0.9	0.9
(二)	萬宜(Man-Yi)	7月8~15日	0.0	0.7
(三)	蝴蝶(Wutip)	8月7~9日	1.0	0.7
(四)	聖帕(Sepat)	8月11~19日	0.2	0.9
(五)	百合(Nari)	9月12~15日	0.4	1.0
(六)	利奇馬(Lekima)	9月26~27日	0.0	0.7
(七)	菲特(Fitow)	9月4~6日	-1.6	0.7
(八)	韋帕(Wipha)	9月15~24日	0.2	0.7
(九)	范斯高(Francisco)	9月21~25日	0.7	0.8
(十)	羅莎(Krosa)	10月1~7日	-0.1	0.8
(十一)	劍魚(Kajiki)	10月18~20日	0.6	0.7
(十二)	法茜(Faxia)	10月25~27日	0.9	0.7
(十三)	琵琶(Peipah)	11月2~9日	0.1	0.9
(十四)	海貝思(Hagibisi)	11月26~27日	0.5	0.8
(十五)	米娜(Mitag)	11月26~27日	-0.3	1.0
		2007年總合：	**0.2**	**0.9**

表三　以熱帶氣旋級別分類的平均偏差值和均方根差異值

熱帶氣旋級別	*平均偏差值*	*均方根差異值*
熱帶低氣壓	0.9	0.8
熱帶風暴	0.1	0.6
強烈熱帶風暴	-0.2	0.5
颱風	-0.4	0.8