

應用同步衛星資料估算東亞地區之風場

劉振榮 徐健瑤 林唐煌

國立中央大學太空及遙測研究中心

(中華民國八十四年八月二十一日收稿；中華民國八十四年九月二十七日定稿)

摘 要

由於傳統探空測站每天在正常情況下僅觀測兩次，而且探空測站一般亦只分佈在人口稠密的陸地範圍，因此不僅大氣運動資料的時間解析度不足，對於廣大的洋面上或人跡罕至的高山、沙漠或叢林地區則更是缺乏資料。由此可知傳統的探空觀測資料不論在空間上或時間上均存有極大的空隙，而目前由於可接收2-4顆繞極軌道衛星，因此間隔不到6小時衛星即可觀測一次，而同步衛星更是每天24小時中每隔1小時或半小時即可傳送一次觀測資料，此外更由於衛星觀測涵蓋範圍的寬廣與連續，使得衛星觀測資料在時間和空間上的解析度均遠優於傳統的觀測，也因此本研究即嘗試應用衛星來估算東亞地區之風場，以彌補傳統探空觀測在大洋面或人跡稀少處風場資料之不足。

同步衛星所觀測的雲圖傳統均應用於觀測天氣系統的變化情形，不過由於其良好的時間解析度，更是用來觀測雲運動的最佳工具。而由於大部份的雲移動可視為雲受到風吹拂所致，因此雲運動又可代表雲所在高度層上的風向風速，所以藉由東亞地區內各雲塊之移動情形，即可估求得當時之風場。本研究即利用日本GMS-4地球同步衛星逐時所觀測得之雲圖作雲追蹤，首先利用環形電影法選擇適合追蹤之雲塊，再由互相關法決定雲塊之移動及距離，以決定風向和風速，最後由紅外線所求得之雲頂溫度決定風向風速所代表之高度，而整個東亞地區之目標雲塊均追蹤求得風向風速後，最後步驟則編輯全部結果並去除不合理的部份，即可估求得東亞地區當時之合理風場。本研究所估求之風場即與同時之探空觀測風場相比對，以驗證應用本研究之準確性。

研究中最大誤差可能來自於雲高度之決定，這也是未來在改進風場估算準確度上值得進一步研究之方向。本研究採用了GMS-4四個觀測日期資料，研究結果與當時的探空資料比較，風向相差在30度以內者為66.3%，風速相差在15 knots以內者為90.2%，結果尚佳。

關鍵詞：風場、衛星遙測

一、前 言

1966年美國應用技術衛星ATS-1 (Application Technology Satellite - 1) 被發射到地球同步軌道，高度約為36000公里左右，應用技術衛星繞地球旋轉速度與地球角速度相同，因此可以說是固定於地球赤道某一點的上空，所以亦稱為地球同步衛星。由於應用技術衛星ATS-1採用自旋式掃描器，其自旋速度約為每分鐘100轉，所以拍攝地球表面四分之一的區域只需要約25分鐘左右，因此能夠每半小時或一小時不斷地監視地球四分之一面積的天氣變化情形。

同步衛星所拍攝的雲圖資料可提供不同的高空大氣資料，由於同步衛星每半時或一小時拍攝一張雲圖，因此很適合用來觀察一些持續性的天氣狀況，更適合用來觀察連續雲圖中雲的運動情形。自ATS-1被發射到同步軌道之後，利用同步衛星雲圖作為風場觀測來源即被肯定。

早在1968年芝加哥大學的Fujita等人即已利用ATS-1雲圖以環形電影法觀測雲的運動情形，其觀察方式為由研究人員在連續雲圖上觀察雲在初始與末了二個時間所在的位置，以雲的位移來代表雲所在位置的風向與風速。由於環形電影法主要是靠研究人員來判斷雲的移動方向與距離，因此比較費時。

1970年Leese和Novak則首先利用ATS-1影像以互相關係法(cross correlation coefficient method)作雲的自動追蹤推求風場。其將追蹤結果與利用環形電影法得到的結果比較，其方向的準確性高達82%，速度的準確性為72%。Leese和Novak所採用的方法完全為由電腦作互相關追蹤，因此較不費時但是約有28%的誤差存在。

1983年威斯康辛大學Suomi等人發表的McIDAS(Man-Computer Interactive Data Access System)系統為一套人與電腦之間的交談式處理系統，此系統主要是用來處理及分析影像資料，其中所使用的雲速估算方法亦採用互相關追蹤法，除了由電腦的操作之外，另外加入人工的判斷，由氣象人員研判追蹤雲塊的選擇與互相關係數的取值，雖然Suomi等人的McIDAS方法需要經由人工的研判因此會消耗較多的時間，但是在準確度上卻大大的提升。

由觀測雲的運動結果推求風場，所遇到的最大問題就是風場所代表的高度，一般求雲高的方法為將雲頂溫度與標準大氣的垂直剖面作推演，即可得到雲的高度，而雲的高度就可用來代表由其推導得之風場的高度。至於雲頂溫度，一般則為利用紅外線雲圖中，每個追蹤雲塊中心的亮度溫度為雲頂溫度。

此外，Hubert和Whitney在1971年發表以LBF (Level of Best Fit) 作為雲的參考高度。由LBF得到低層雲的高度為3000ft，而高層雲的高度為30000ft。Hubert和Whitney將風場結果與探空資料作比較發覺誤差很小，所以他建議在缺乏探空資料可供作雲高比較時，則可採用LBF方法。

至於利用雲位移轉求風場的準確性，Bauer在1976年利用McIDAS系統中的雲追蹤及雲高的程式求得風場，並將每個測站附近六百公里內最近的2~3個探空資料，分別以其u、v方向的速度值內插到測站，並與測站所量測的u、v值作比較，求其差異。再以相同方法應用在雲追蹤結果上，求得其測站之u、v內插值與量測值間的差異。由兩種結果所作的均方根差值的比較結

果中顯示，雲追蹤結果在 u 、 v 方向的均方根差值分別為 4.4m/s 及 4.6m/s ，而探空資料在 u 、 v 的均方根差值則為 4.2m/s 與 5.1m/s 。所以由雲運動結果得到的風場與探空資料比較中，發現這二種資料之間並無太大的差異。

國內在相關於衛星風場之研究方面，氣象局曾有初步之探討(顏，1990)與對 SATOB 衛星風場之分析報告(沈等，1993)，惟其均非完全針對雲運動推估風場之理論推導與模式程式設計。本研究則根據以往各研究之結果，利用互相關係法計算其係數值，並以環形電影法預先估算其可能之風向，而以預估方向作為選擇局地互相關係數為最大值之限制範圍，如此不但可以減低估算風場之時間，而且可以明顯提升估算風場的準確度。

二、雲追蹤估算風場之原理與方法

在同步衛星所拍攝的連續影像上，測量雲在不同時間的位置並求得風場，必須借助於電腦與顯像器 (display) 這兩種工具，以電腦快速的計算能力與邏輯判斷力及高解析度的顯像器的幫助，才能夠準確地得到雲的位移。不過在處理雲運動的過程中，亦不能完全假手於電腦，因為在處理雲位移時，其最基本的問題為那一範圍的雲移動可用來代表風場，及雲塊在延續的雲圖中是否仍然存在，這些都不是電腦所能單獨決定的。

選擇作為可追蹤的參考雲塊時，由於電腦沒有辦法判斷雲在另外一個時間中的變化情形，如追蹤雲塊在這一段時間中成長、消散等，或者在參考雲塊附近有類似雲塊存在、生成，以及某些特殊雲塊的移動，如鋒面的雲移動、重力波所造成的雲運動以及受地形影響而造成的雲運動，這些都不能表示雲的運動是受風吹拂影響。由以上種種狀況中知道，單以電腦選取適合作追蹤的雲塊，在二個時間的雲圖作互相關追蹤時會選取到不同的雲塊，使得到的結果誤差很大。而且在最後判斷全部結果時，尚需要利用基本的氣象知識來去除一些不合理的估算成果，這些工作是電腦所不能勝任的。

本研究所採用的方法主要分為二個步驟，一為人工處理部份，二為電腦作自動追蹤部份。採用這兩個步驟的主要原因是因為在追蹤雲運動時，選擇適合追蹤雲塊與不適合追蹤之雲塊間的差異甚小，因此電腦無法有效地分別。而且完全由電腦作自動追蹤時，無法判斷追蹤的結果是否合理，所以仍需要加入人工的篩選來輔助電腦的判斷。加入人工的選擇與判斷對追蹤結果影響很大，因為選擇到很好的適合追蹤雲塊時，則風向風速的誤差就會相對地減少。雖然加入人工的判斷較費時，但卻能增加準確性，避免不必要的誤差產生。最後在編輯風場結果時本研究亦加入氣象方面的知識與經驗，以人工去除一些不合理的風場資料。一般說來，本研究在進行雲追蹤時，計算出每組風場所需的步驟約可分為：

- (1) 雲圖定位。
- (2) 選擇適合追蹤之雲塊。
- (3) 追蹤所選的參考雲塊。
- (4) 將得到的風向風速配置到合適的高度。
- (5) 編輯全部風場資料，並去除不合理的結果。

上述的五項步驟中，第一項為應用衛星數據資料前所必須先行處理的最基本工作，第二、五項為人工處理部份，而第三、四項則由電腦來加以計算。

(一) 雲圖定位

在理想的情況下，同步衛星相對於地球來說是穩定的，甚至可以說衛星是固定於地球赤道上空的某一個位置，所以其觀測地球天氣系統之影像上的地理位置是不會改變的。但是同步衛星在繞地球旋轉時受外力的影響，而改變了衛星旋轉軸的角度，這些外力來自於太陽、月亮、星星等較大星球的引力作用，甚至太陽風等電磁波也會改變衛星的姿態。由於以上種種因素的影響，使得衛星所拍攝地球特徵的影像並不是完全固定的，此種情形在環形電影中看起來尤為明顯。未先經過處理的影像在螢幕上看起來不但雲會移動，而且對於一些較明顯的陸標物也會感覺到移動的現象。所以在選擇作為適合追蹤雲塊前，所使用之影像最好先經L資料處理，這種處理過程稱為雲圖定位，雲圖定位的意義為瞭解雲圖上某一像元所對應到的地球經緯度，所以雲圖定位這一步驟為應用衛星數據資料前須先處理的最基本工作。

對於定位問題本研究所採用的方法為「簡易定位法」（曾，1988），其方法為將影像上某一視點相對於星下點的角度求得，並將視點、星下點及北極所構成的球面三角形，藉由球面三角公式，即可求得某一像元相對於地球的經緯度。利用此方法得到的定位結果並不是十分的準確，因此利用影像上較明顯之陸標物的地理經緯度對求得的經緯度值作水平方向的移動，以求得吻合的結果，藉由這兩步驟則可以完成雲圖的定位問題。由於GMS-4同步衛星雲圖資料中已知每張雲圖中心的經緯度，利用此中心的經緯度（東經125度，北緯20度）與求得結果比較，作為移動的方向與大小依據，如此更可增加雲圖定位的準確度。

(二) 適合追蹤雲塊之選擇

經過定位處理的連續雲圖可以利用顯像器來觀看雲的變化情形，並且利用顯像器的游標來標示適合追蹤雲塊相對於雲圖的位置，追蹤雲塊特徵區域以一個矩形範圍來涵蓋，特徵範圍可隨雲塊的形狀大小而加以改變，只要能包括追蹤雲塊的特徵即可。另外對於雲圖邊緣部份的資料則一律不加以採用，因為這些資料由於地球曲率的關係，在拍攝的影像上早已變形，所以不適合用來作雲追蹤。

對於適合用來作追蹤雲塊的條件，由經驗中得知相隔1小時的連續雲圖於追蹤積雨雲時較為不適合，主要原因為其生命期往往只有半個小時或更短於這個時間，其生命期小於連續雲圖的時間間隔，所以不易觀看到這一類型雲的連續存在情形。此外當我們找尋可追蹤雲塊時應避免採用在均勻雲區的雲塊，或追蹤的目標雲區中有類似雲塊存在或生成的情形出現，因為在追蹤這種類型的雲塊時會產生很多相關係數均很大或太接近而不易分辨的情形發生，因此在選擇時要避免採用這些雲塊來當作追蹤雲塊。

熱帶海洋上空的對流雲系統生成後的雲塊，供給了大部份低對流層適合作追蹤的雲塊，因為這些雲塊包含豐富的水汽且其結構緊密，所以利用此種雲塊作追蹤得到的結果誤差較小。利用

不同時間的連續雲圖可以觀看到信風積雲或層積雲等中尺度雲塊的運動情形，對於這些雲塊能夠很清楚地分辨出因而適合用來作追蹤雲塊，因為這些雲的生命史往往大於1個小時，由於雲型結構緊密所以亮度並不會變化太大。由許多的經驗中可以看出中尺度雲塊的雲運動與空氣塊運動之間的關係並無太大的差異，本研究所應用之雲塊範圍約幾十至幾百公里大小的雲塊，並非幾千公里以上之雲系，故研究中稱之為中尺度雲塊。因此追蹤此種雲塊得到的結果較準確，其追蹤結果與探空資料很接近，可用來代表風場。

由於在噴流(jet stream)附近風速較大，如果利用噴流附近的高層雲塊作追蹤需特別留意，否則無法得到準確的風向與風速值，因為這些雲塊在這一段時間中常早已移出了追蹤的目標區域，所以得經特殊處理，否則不易得到良好的結果。

在選擇作為適合追蹤雲塊的同時也需要約略估計雲的移動方向，預估方向可用來作決定選取雲在另一段時間中移動的位移方向之參考，此步驟主要是針對在雲圖時間間隔中變化較大的追蹤雲塊所需才加入的，因為這種雲塊之係數值最大的位置並不完全能代表雲塊移動後的位置，所以採用預估方向的方法來作決定雲移動方向的判斷依據。借助預估方向的研判能使適合追蹤雲塊的個數增加，並增加追蹤消散情形較大之雲塊的準確性。

(三) 雲追蹤的原理及方法

互相關係係數法主要是用來評估兩組隨時間變化的資料之間的變化情形，因此互相關法適於用來分辨隨時間變化的雲圖資料，所以我們採用互相關法來作雲追蹤的參考。互相關係數的計算可藉由快速傅利葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)得到，其表示如下：

$$R(m, n) = \frac{\sum_j \sum_k f(j, k)g(j + m, k + n)}{(\sum_j \sum_k f(j, k)^2 \sum_j \sum_k g(j + m, k + n)^2)^{\frac{1}{2}}}$$

其中

$R(m, n)$ ：為互相關係數值。

$f(j, k), g(j + m, k + n)$ ：分別為追蹤雲塊及目標雲區的亮度值。

由連續雲圖求雲的運動情形，其中互相關法實在是一項很合適的方法，尤其是當二張雲圖中的雲沒有變化而只有移動時更加的明顯，此時由互相關係數可以看到所有係數值會一致，且明顯地可以看到只有互相關係數值的移動而已。但實際上雲是無時無刻在變化著，因此二張雲圖經互相關計算後的結果並不會一樣，且有時在目標雲區中追蹤雲塊的相關係數值並不見得是最大值，因此靠電腦直接作互相關追蹤並以其相關係數最大值的位置為雲塊的移動位置常會有誤差出現，而追蹤的結果可能並不是原來雲塊移動的位置。因此本方法由研究人員事先觀看連續雲圖中雲的約略移動方向並輸入電腦，再由電腦找出相關係數值為局部最大，且位置在預估移動方向一定範圍內者，就可以判斷此相關係數局部最大的位置就是雲移動後的位置。

一般在進行雲追蹤時最好追蹤每個雲塊在三張連續雲圖的位置，但是每次的追蹤計算仍以二張雲圖為主，由於事先早已選好適合用來作追蹤雲塊的大小、範圍、位置及移動的約略方向，

因此以追蹤雲塊的中心所在位置 (m, n) 設定為起點，分別向四面八方作互相關追蹤，以追蹤雲塊四倍大小的區域為目標雲區。

由於第一步驟是針對於第一張雲圖作互相關係數之計算，對追蹤雲塊來說目標雲區中的雲塊並沒有任何的移動與變化，所以其相關係數最大的位置一定在目標雲區的正中心位置，其相關係數值也一定為1。而在處理第二張雲圖時，對於第二張雲圖的目標雲區與第一張雲圖的目標區採取同樣大小的區域與位置，經互相關計算結果一般其相關係數最大值不再是1而是小於1之值，最大值的位置也會改變，最主要的原因是在這一段時間中雲已移動了一段距離，且大小與亮度都有些微的變化。

對第二張雲圖作互相關計算之後，由係數值中可以找到局部最大值之處為追蹤雲所在位置 (l, p) ，因此知道雲由原本 (m, n) 的位置移到 (l, p) 新的位置，但是這些位置為影像上的位置不能直接用來求風場，要轉換為經緯度值才能得到正確的風向風速，不過在與預估方向作比較時仍是以雲圖上的像元位置來作方向上的判斷。將像元的位置轉換為地表的經緯度值，由於在定位處理時已得知雲圖中任一像元相對於地球的經緯度值，因此上述的二個位置可經轉換成經緯度值，由此二個位置即可得到的雲移動的速度與方向。

另外在處理第二張雲圖與第三張雲圖時所作的方法及步驟與上述的過程均相同，只不過其追蹤雲的選取直接採用前二張雲圖所作的結果來作參考。亦即將前述中雲移動後的位置做為適合追蹤雲塊的新位置且範圍大小不變，參考追蹤方向則利用前述得到的方向，其餘步驟則與上述相同。最後再比較前後兩次的追蹤結果，而由其是否具一致性可增加判別估算風場是否合理的依據。

(四) 雲高之推求

利用雲追蹤方法得到雲位移以求得風場的方法中，另一重要的問題就是所求得之風場代表的高度為何？一般均由雲的高度來代表風向量所在位置的高度。雲頂高度可藉由在假設雲頂溫度與其環境大氣為平衡狀態的情形下，以雲頂溫度與大氣垂直溫度剖面推算出來。一般追蹤雲的雲頂溫度可以利用紅外線窗區頻道拍攝的雲圖資料來求得，因為紅外線輻射儀所探測到的輻射值分別為地表、或雲等輻射體輻射出來的輻射量，經過了大氣吸收和放射效應之後，到達衛星掃描儀的輻射量總和，因此若將雲視為黑體，且由於高層水汽含量較少，大氣之吸收及放射效應均可忽略，則由衛星探測到密雲區的輻射量經普朗克函數轉換為亮度溫度後，此亮度溫度即可用來代表雲頂溫度。不過由於儀器本身的誤差，以及未能確知代表像元是否完全為雲所覆蓋，因此有必要尋求一精確之方法以確保求得準確之雲頂溫度。

本研究以直方圖法來求取雲頂溫度。以往直方圖法均用來決定紅外窗區頻道晴空之輻射強度，以為衛星資料估算海面溫度之應用，但對於雲區其實亦可採用此方法來決定雲頂溫度，決定晴空區與雲區溫度之間的差別僅為兩者取點位置不同而已。在每一個追蹤雲的區域中不單只有雲的分布而已，還包括了一些晴空之區域，因此每個追蹤雲區的直方圖中會有二個較明顯的出現頻數較高的位置出現，這兩個較高的位置可代表雲區和晴空的亮度溫度分布位置，而兩個峰值之間的中間的部份可視為其視場為部份為雲遮住的出現頻率。對於找晴空（或雲區）的溫度只能

找其正態分布最高點右側（或左側）的資料值，因為在此分布區內較能保證不會為其它外來因素所干擾。

在直方圖中本研究採用溫度間距為2K的直方圖，依據直方圖法的假設可知雲區和晴空區的頻數分布均為正態分布，其方程式為：

$$f(x) = f_0 \exp\left(\frac{-(x - x_0)^2}{2\sigma_0^2}\right)$$

其中

f_0 ：為出現的頻數（即最高頻數）。

x_0 ：為平均的亮度溫度值。

σ_0 ：為標準偏差。

對於平均亮度溫度的求法我們採用三點法（Three Point Method），利用三點法的優點就是不須事先知道最大頻數值(f_0)及標準偏差(σ_0)，只要利用分布曲線左側上任三點的頻數值與溫度，配合正態分布曲線方程式就可以得到平均亮度溫度。即假設此三點的出現頻數與亮度溫度分別為($f(x_i), x_i$)、($f(x_j), x_j$)、($f(x_k), x_k$)，由此三組資料利用正態分布方程式，恰可形成三個方程式和三個未知數(x_0, f_0 和 σ_0)之方程組，由此即可求得平均亮度溫度（雲頂溫度）和標準偏差。

由於直方圖的頻數分布一般在實際觀測資料上並不是十分理想的正態分布，且亮度溫度受噪聲影響很大，若只利用一組三點資料所找的平均亮度溫度可能會出現較大的誤差，因此可以在最大頻數的較冷側中任取9組的溫度與頻數，在此9組的資料中若有頻數為0者則不加以使用，由此9組資料中任取三組則可由前述之方法計算求得一個平均亮度溫度與標準偏差值，而由全部的9組資料中可得到84組的平均亮度溫度與標準偏差。將這84組平均亮度溫度與標準偏差再畫出另一個直方圖來，此直方圖稱為平均估計值直方圖（Mean Estimate Histogram）。由第二個直方圖中以溫度間隔為2K與標準偏差間隔為2，找到出現頻率最高的區域，利用個數最多的區域中全部平均亮度溫度的平均值來代表真正的雲頂溫度。

由三點法求得雲頂溫度之後，一般的方法為利用氣候值的溫度剖面或標準大氣的垂直溫度剖面來推求雲的高度。本研究以三十年中月平均的溫度值來作推求，所採用的溫度氣候值分布範圍以北半球為主，水平網格的大小為經緯度2.5度，垂直部份則分為十層。由每個追蹤雲塊周圍四個網格點的溫度值，以內插方式內插到雲塊的中心位置，則可以得到垂直溫度剖面，再將雲頂溫度與溫度垂直剖面作比較，即可得到雲頂高度。

(五) 編輯風場結果

雖然利用互相關追蹤法可以得到準確的結果，但難免仍有一些異常的結果出現，因此仍然需靠人為的方式來加以選擇與判斷，將一些不合理的結果去除掉，使結果更加準確。

雖然在選擇適合追蹤雲塊時觀看連續雲圖上的雲移動情形，且將觀看結果作為方向上的判斷，但此預估只限於在相關追蹤時作為參考用，最後仍須將全部追蹤結果標示出來，將每個風向

與風速與周圍的結果作比較，若與附近結果有很明顯的差異，則此一結果必須去除。此外配合當時的天氣情況，亦需把一些不合理的結果去掉，如在低氣壓中心附近的風向為逆時針方向，若有順時針方向的風向則可能為錯誤結果。此判斷依據主要是由觀測人員以氣象方面的知識配合當時的天氣狀況，將偏差太大的追蹤結果去除，由於在執行本步驟時受人為因素影響很大，因此需極為謹慎研判。

利用連續雲圖求得雲運動情形，不能單靠連續的兩張雲圖來加以判斷，需要多採用另一張連續雲圖來加以追蹤比較。因此每個追蹤雲塊可以得到間隔半或一小時之連續二個風向風速值，以這二個風場資料作比較，發現當在u方向或v方向的差異大於4m/s時，則為不好的結果，一般均要捨去。而且在決定雲高時，對於存在三張連續雲圖中的追蹤雲塊其第一個時間的雲高與第二個時間的雲高若不是在同一層或相鄰層時，則此結果亦不能採用。

三、個案分析及驗證

(一) 分析及驗證資料

本研究以GMS-4在1994年3月30日00Z與5月9日12Z和5月20日00Z及5月25日00Z所觀測的連續雲圖來作分析，並配合探空資料以為驗證。研究只用紅外線雲圖作雲追蹤研究，未加入可見光影像資料，原因為每個像元的太陽天頂角均不相同，因此形成應用可見光資料的複雜度。如果有校正過的可見光影像可配合使用時，則可加入可見光影像配合紅外線雲圖一同作雲追蹤，雖然處理二種不同解析度的影像較費時，但可見光雲圖仍是一項好的資料來源。

另外我們採用以經緯度各為2.5度網格的北半球溫度氣候值來作為雲高的推求依據。對於南半球赤道附近的溫度值剖面則以相對於北半球同一位置的溫度剖面氣候值來代表，對於這些南半球的結果其位置大都位於赤道附近，由於赤道附近溫度變化不會太大，而且在這些結果中其位置距赤道最遠的只有3個緯度左右，因此以此方法得到的南半球溫度垂直剖面與實際結果應不會相差太大。

(二) 追蹤結果與探空資料作比較

針對所選的GMS在1994年3月30日00Z、5月9日12Z及5月20日00Z及5月25日00Z四個時間中連續雲圖影像作互相關追蹤，其進行步驟如前述，首先利用環形電影法找出適合作追蹤的追蹤雲塊及其預估方向。為方便與測站之探空資料相比較，所選之雲塊大都位於陸地上空。而追蹤雲的目標區之範圍為 50×50 像元，因此無論追蹤雲塊之大小為何都將得到 50×50 個互相關係數值。圖1即為3月30日第一和第二張影像在像元位置為(964, 311)之雲塊(見表一第9號追蹤雲塊)在追蹤後所得互相關係數值之分布圖，而圖2則為其立體之三維示意圖。由圖上可知，最大互相關係數乃是在正中心點之左上方(見圖1)，而由計算可知其風向為135度(F南風)，而風速則為每小時2.828個像元距離。3月30日個案之追蹤雲塊之追蹤結果如表一和表二所示，表中所採之位置單位為像元座標，其中X, Y為追蹤雲塊在影像上的中心位置，NX, NY為第二張影像追蹤雲塊移動後之中心位置，速度(VELOCITY)之單位為像元/小時。例如表一第一個追蹤結果得知風向為270度，風速為2像元/小時。

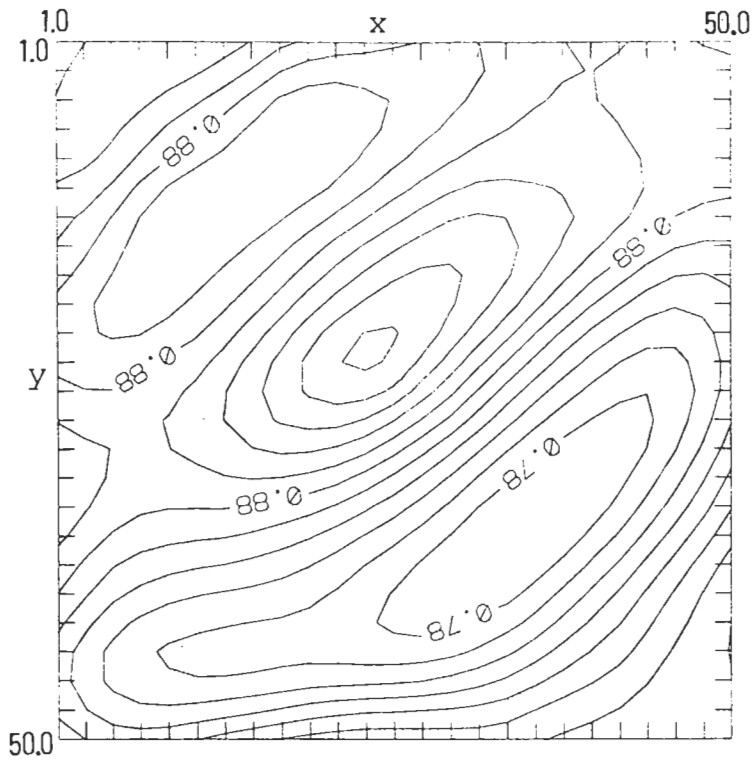


圖1 3月30日00Z第一張雲圖與第二雲圖中追蹤雲塊9追蹤所得之互相關係數分布圖。

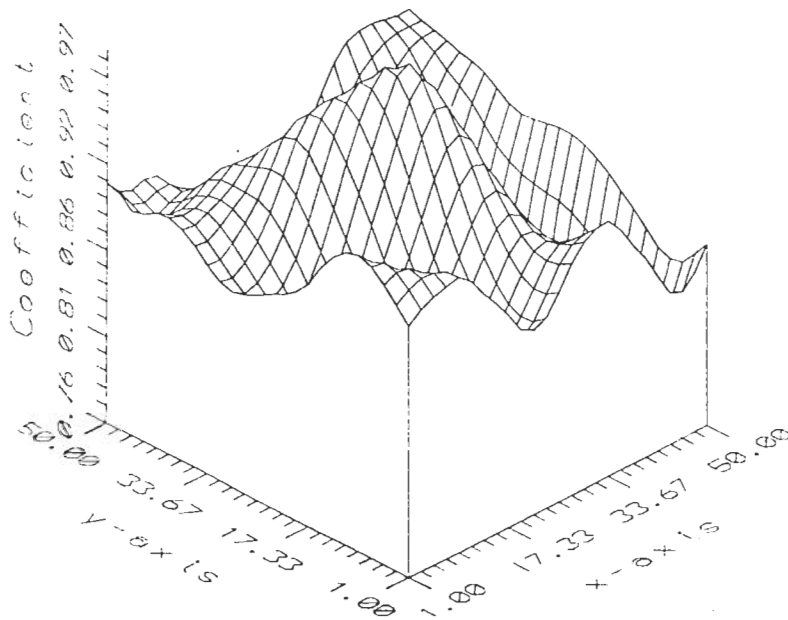


圖2 同圖1，但為三維立體示意圖。

表一 3月30日00Z追蹤雲塊於第一、第二連續2張雲圖之追蹤結果。X,Y,NX,XY
為追蹤雲塊在第一和第二張雲圖中中心位置之像元值。

NO	X	Y	NX	NY	DEGREE	VELOCITY	最大相關係數 (像元/小時)
1	191.	640.	192.	642.	270.000	2.000	0.9989
2	287.	703.	291.	707.	315.000	5.657	0.9847
3	153.	463.	153.	457.	90.000	6.000	0.9967
4	52.	435.	53.	435.	0.000	1.000	0.9960
5	275.	332.	273.	335.	243.435	4.472	0.9992
6	397.	173.	397.	176.	258.690	5.099	0.9999
7	426.	130.	440.	130.	296.565	4.472	0.9986
8	691.	61.	691.	59.	116.565	2.236	0.9865
9	964.	311.	960.	309.	135.000	2.828	0.9946
10	231.	945.	233.	951.	288.435	6.325	0.9937
11	811.	149.	809.	147.	116.565	2.236	0.9682
12	231.	945.	233.	951.	288.435	6.325	0.9937
13	302.	807.	301.	811.	243.435	2.236	0.9998
14	325.	630.	326.	639.	277.125	8.062	0.9999
15	710.	179.	715.	177.	33.690	3.606	0.9898
17	791.	91.	790.	89.	116.565	2.236	0.9826
18	779.	558.	775.	555.	146.310	3.606	0.9964
19	679.	592.	676.	591.	135.000	2.828	0.9907

表二 3月30日00Z追蹤雲塊於第二、第三連續2張雲圖之追蹤結果。X,Y,NX,XY
為追蹤雲塊在第二和第三張雲圖中中心位置之像元值。

NO	X	Y	NX	NY	DEGREE	VELOCITY	最大相關係數 (像元/小時)
1	190.	647.	191.	641.	99.462	6.083	0.9949
2	273.	333.	269.	339.	236.310	7.211	0.9967
3	398.	175.	398.	183.	270.000	8.000	0.9927
4	440.	132.	439.	135.	260.538	6.083	0.9990
5	786.	57.	784.	57.	180.000	3.000	0.9874
7	960.	308.	956.	304.	135.000	5.657	0.9817
8	327.	927.	329.	933.	288.435	6.325	0.9974
11	427.	81.	429.	85.	296.565	4.472	0.9874
12	304.	828.	296.	821.	243.435	11.180	0.9900
13	404.	159.	410.	162.	333.435	6.708	0.9841
14	805.	181.	781.	151.	116.565	4.472	0.9977
15	904.	77.	889.	49.	135.000	2.828	0.9972
16	798.	329.	806.	317.	158.199	5.385	0.9911
17	807.	428.	806.	423.	90.000	2.000	0.9918
18	736.	583.	733.	579.	126.870	5.000	0.9911
19	561.	829.	557.	833.	218.660	6.403	0.9863

將選好的追蹤雲塊利用互相關法作追蹤，在追蹤的過程中有時有的追蹤雲塊並沒有得到結果，其主要的原因是追蹤係數並無良好的局部最大值存在此範圍內或者追蹤雲塊早已離開了目標雲區的範圍內，所以無法得到風向與風速值。

由前述中知道估算雲的高度要先求得雲頂溫度，由於只使用紅外線影像作雲追蹤，因此要求得雲頂的溫度只需將影像的灰度值換成溫度即可，所以本研究利用look-up table的方法將每個像元的灰度值換成溫度值。分析每個追蹤雲塊的溫度頻數(frequency)分佈情形如圖3(a)。在追蹤過程中為了增加風場的密度，對於結構鬆散的雲塊亦加以追蹤，對於這些雲塊在求取雲頂溫度時較易出現誤差，因為在這些雲塊的溫度頻數分佈圖中不易看出二個高峰部份，所以在利用三點法求取雲頂溫度時會得到偏向晴空的溫度。為了減少雲頂溫度的誤差，以每一個追蹤雲區中心9個像元的溫度平均值為標準，在此平均溫度附近找尋頻數最大值，以最大值左邊9組溫度與頻數值以三點法求溫度值，由於每三組頻數值與溫度值即可求得平均溫度值與標準偏差，因此可以得到84組結果，其分布情形如圖3(b)。將84組結果中以溫度值間隔為2K及標準偏差為2的大小間隔區分開來，以每個區域中出現個數最多的溫度平均值與標準偏差平均值為平均溫度值及標準偏差值。一般來說，在這84組結果中有些結果由於選取的頻數與溫度值較差，因而部份結果有很大的偏差，但是這些個數很少，且會經由第二個直方圖中濾除，因此不會造成太大的影響，而由於選取9組資料來計算雲頂溫度較能保證其結果，所以本研究即以此84組所得之最後結果來代表雲頂溫度，如此應較能避免極端情形的誤差發生。將得到的雲頂溫度再與追蹤雲塊所在位置的垂直溫度剖面作比較，則可得到雲頂高度。

在雲頂高度決定之後，四個時間所追蹤且未經人工處理的結果如圖4~7所示，圖中之數字為追蹤雲塊所在的氣壓層之百位數。

若依高度分為高中低三層，其中以700mb為低層，500mb氣壓層為中層，而以250mb為高層，將每個時間的結果與整個探空資料作比較，其比較情形為探空資料在各個標準氣壓層的結果與高度相差在100mb以內的追蹤結果作比較，則3月30日之比較情形如圖8~10所示，此三張圖所代表的結果分別為1994年3月30日00Z在700mb、500mb及250mb的探空資料風場與雲追蹤結果。由圖中可看出追蹤的結果與探空結果相當一致。

將各日期追蹤雲塊的結果與半徑300公里範圍內的探空資料作比較，則3月30日之結果如表三和四所列。由雲追蹤所得的風場減掉同高度層且距離最近的探空之風場值，兩種風場在風向與風速上的差異統計如表五和表六所示，而表中之數字則為比較之個數。而總合所有雲塊追蹤結果與探空之比較統計情形如表七所示。由表七可看出雲追蹤結果與探空結果在風向上相差30度以內之個數，為全部個數之66.3%。相同地，由表七中亦可發現在風速上相差在15knots以內者亦佔大部份，約為90.2%。而由表七的結果中發現仍有風向之差異大於90°及風速之差異超過30knots等偏差較大的情形產生，造成此情形的原因為在比較時，本研究乃以最靠近的探空結果來作比較，其中探空站的位置與追蹤雲塊中心相距之距離最近者為60公里左右，而最遠的距離則為200公里以上，所以明顯地由於距離差距太大，可能使得部份的比較結果差距較大。另一個原因則為前言中所提可能為雲高決定的誤差所造成，因此雲頂溫度的求取可能亦影響著整個的追蹤結果。

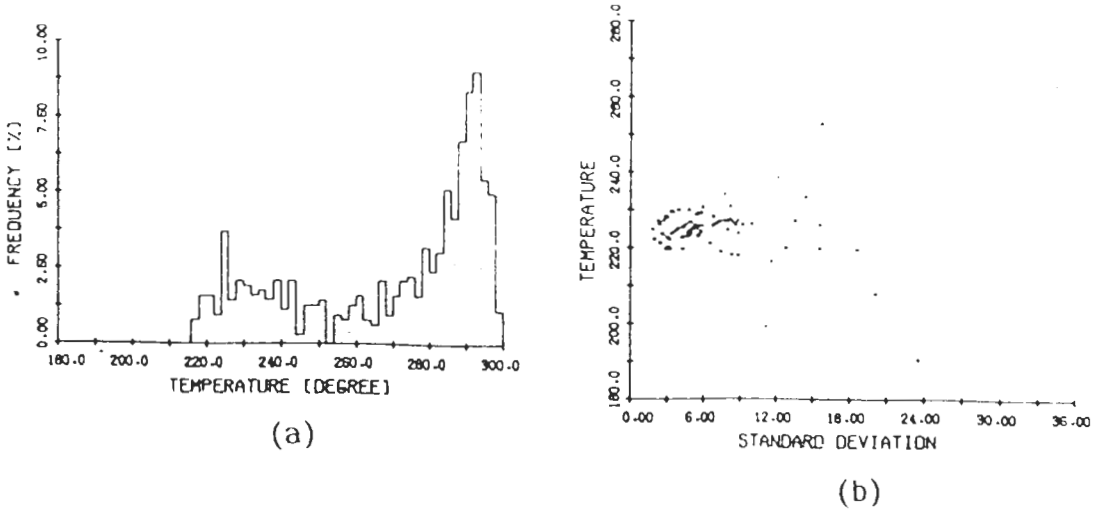


圖3 利用直方圖法得到的溫度分布曲線，(a)為追蹤區中亮度溫度之頻數分布，(b)為由84組頻數與溫度球求得之平均雲頂溫度與標準偏差之分布。

03/30, 1994 00Z

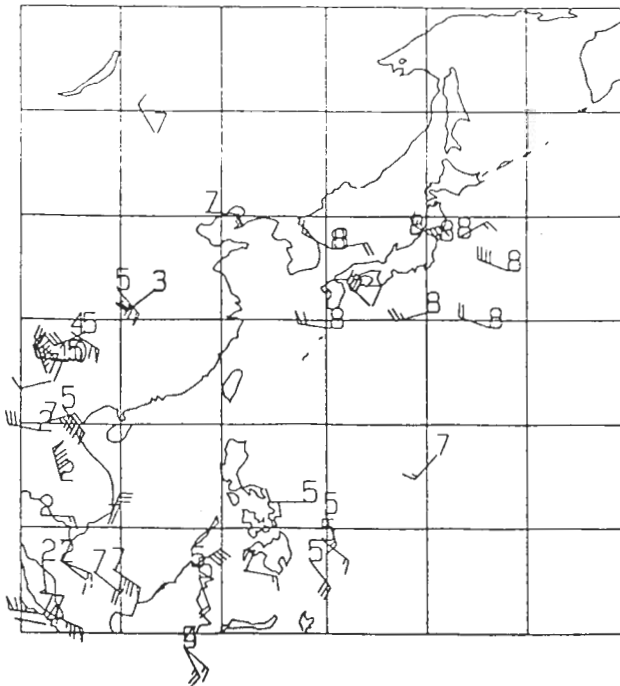


圖4 1994年3月30日00Z三張連續雲圖之追蹤結果，圖中之箭矢代表所得之風向及風速，數字代表雲塊之等壓層。

05/09, 1994 12Z

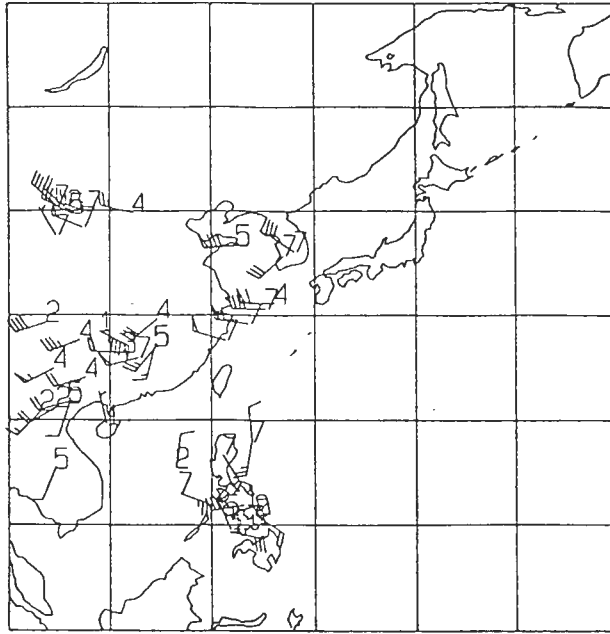


圖5 同圖4，但為5月9日12Z之結果。

05/20, 1994 00Z

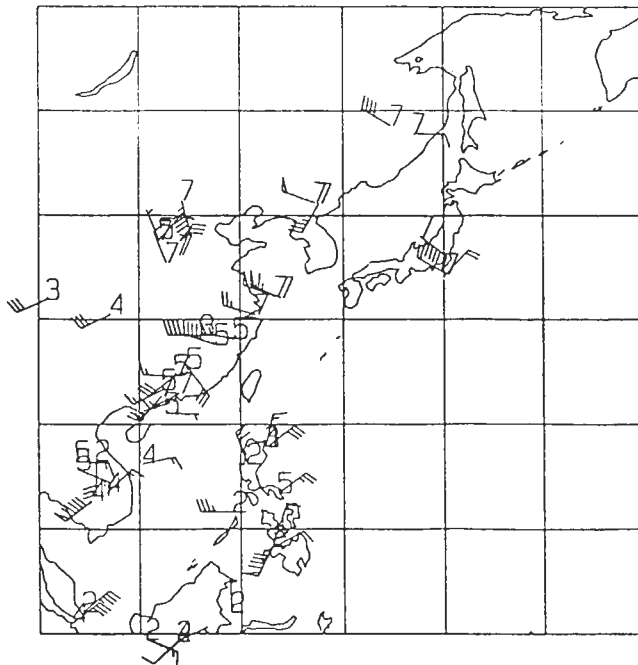


圖6 同圖4，但為5月20日00Z之結果。

05/25, 1994 00Z

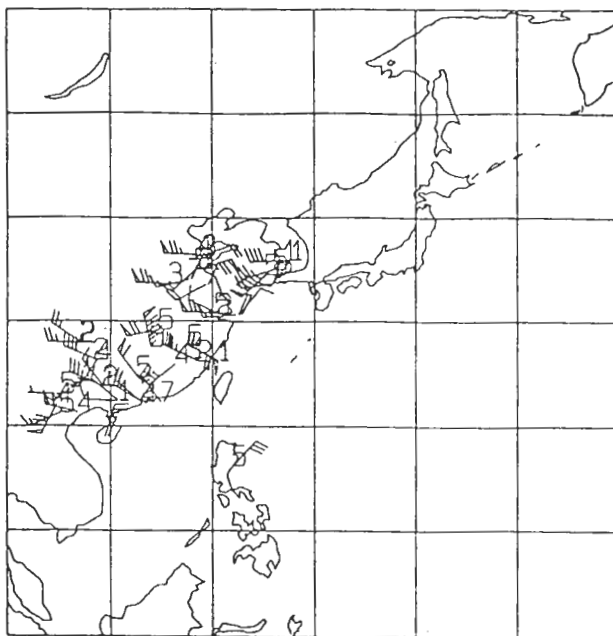


圖7 同圖4，但為5月25日00Z之結果。

3/30, 1994, 00Z 700 MB

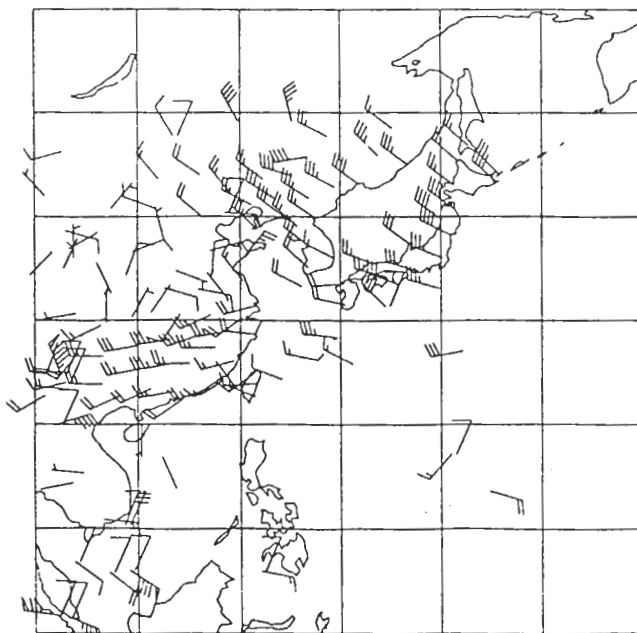


圖8 1994年3月30日00Z 700mb之追蹤結果與探空資料之比較。箭頭前端有數字者為本研究之追蹤結果，而數字則代表所在氣壓層之百位數。

3/30, 1994, 00Z 500 MB

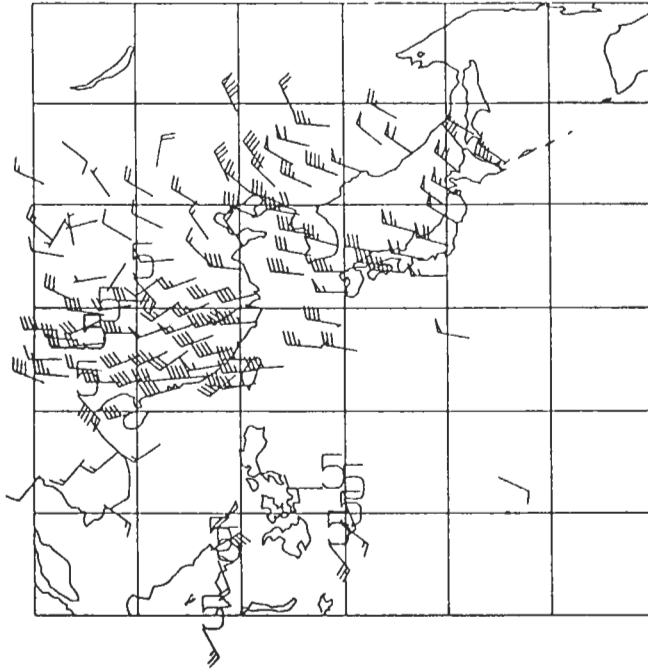


圖9 同圖8，但為500mb之結果。

3/30, 1994, 00Z 250 MB

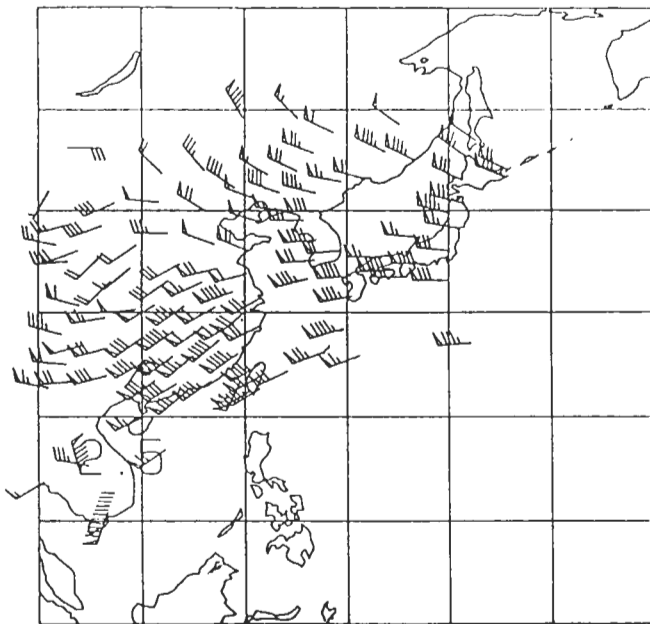


圖10 同圖8，但為250mb之結果。

表三 3月30日00Z第一張與第二張雲圖之追蹤結果與距離300公里內的探空資料之比較。

日期: 03/30/94 07:00-07:30 雲追蹤觀測						探空站觀測			
NO	緯度	經度	氣壓層 (mb)	風向 (degree)	風速 (knots)	緯度	經度	風向 (degree)	風速 (knots)
1	36.9	130.6	905.4	297.4	8.7	36.0	129.4	272.1	3.0
2	31.4	134.4	605.0	315.2	20.0	33.5	135.8	282.9	18.8
3	40.3	118.4	734.0	92.4	25.2	42.3	119.0	318.9	13.0
4	47.8	113.4	765.7	329.9	6.0	-	-	-	-
5	32.7	113.2	313.6	233.8	11.6	33.0	112.6	213.6	9.6
6	26.1	104.8	507.4	272.4	12.7	26.9	104.3	273.0	17.7
8	5.9	107.3	685.1	127.4	9.6	-	-	-	-
9	-1.3	116.3	554.2	151.5	12.8	-	-	-	-
10	37.7	141.5	845.4	299.0	8.1	38.3	140.9	285.3	12.3
11	38.0	143.2	884.7	61.8	8.5	38.3	140.9	290.8	11.1
12	34.8	148.1	826.5	289.4	21.5	-	-	-	-
13	30.8	140.1	915.9	255.1	13.7	33.1	139.8	100.6	3.1
14	19.3	101.9	187.1	281.7	18.2	18.8	99.0	300.0	55.1
15	10.3	108.8	697.5	20.6	15.5	10.8	106.7	95.4	8.0
17	6.9	128.4	504.1	141.7	14.4	-	-	-	-
18	11.5	129.9	506.8	159.6	9.2	-	-	-	-
19	12.5	127.8	534.3	270.4	5.9	-	-	-	-

表四 3月30日00Z第二張與第三張雲圖之追蹤結果與距離300公里內的探空資料之比較。

日期: 03/30/94 07:30-08:30 雲追蹤觀測						探空站觀測			
NO	緯度	經度	氣壓層 (mb)	風向 (degree)	風速 (knots)	緯度	經度	風向 (degree)	風速 (knots)
1	37.0	130.9	901.1	80.5	10.8	36.0	129.4	273.1	3.0
2	32.9	113.3	342.6	233.6	11.6	33.0	112.6	210.7	8.7
3	26.0	104.9	465.0	272.4	16.8	26.9	104.3	271.5	18.3
4	24.0	103.0	610.8	256.5	6.0	23.4	103.4	275.0	12.0
5	20.0	102.4	640.5	72.9	24.0	-	-	-	-
7	-1.2	116.2	405.3	132.1	8.4	-	-	-	-
8	29.3	146.3	889.7	289.1	10.1	-	-	-	-
11	24.9	98.4	556.0	288.9	11.7	25.1	98.5	310.0	12.8
12	28.7	106.3	466.3	246.0	15.4	29.5	106.5	278.4	25.4
13	22.4	96.0	656.8	302.6	16.1	-	-	-	-
14	6.8	103.9	614.4	125.6	5.1	-	-	-	-
15	6.4	117.1	561.0	58.7	21.6	-	-	-	-
16	5.3	117.8	538.6	160.6	10.5	-	-	-	-
17	5.9	122.0	605.4	100.8	7.7	-	-	-	-
18	8.9	129.6	529.8	126.0	7.3	-	-	-	-
19	17.1	141.0	693.5	224.8	8.4	-	-	-	-

表五 同表三之資料，但為追蹤結果與探空資料在風向及風速之差異統計。

風向：雲追蹤計算結果—探空測站觀測結果(單位:degree) 03/30/94,07:30																				
差	-90	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
距																				
	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90		
個數	2	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0

風速：雲追蹤計算結果—探空測站觀測結果(單位:knots)															
差	-30	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
距															
	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30			
個數	1	0	0	0	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	

表六 同表五，但為同表四之資料。

風向：雲追蹤計算結果—探空測站觀測結果(單位:degree) 03/30/94,08:30																				
差	-90	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
距																				
	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90		
個數	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0

風速：雲追蹤計算結果—探空測站觀測結果(單位:knots)															
差	-30	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
距															
	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30			
個數	0	0	0	0	0	2	1	2	1	0	0	0	0	0	

表七 所有個案之全部追蹤雲塊之結果與探空資料在風向和風速之差異統計。

風向：雲追蹤計算結果—探空測站觀測結果(單位:degree) 3/30-5/25, 1994																				
差	-90	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
距																				
	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90		
個數	6	0	1	1	1	4	4	6	10	15	13	8	9	6	4	2	0	2	0	0

風速：雲追蹤計算結果—探空測站觀測結果(單位:knots)														
差	-30	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
距														
		-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
個數	1	1	1	1	5	24	18	15	14	7	2	2	1	1

四、結論與展望

利用互相關係法並配合環形電影法所預估的風向對間隔半個小時或一個小時的雲圖作雲追蹤，可以得到與探空資料近似的風場結果，將兩種不同觀測方法所得之結果比較發現，造成誤差的原因及未來可改進的方法如下：

(1) 在本研究的比較結果中，發覺經由雲追蹤得到的風速值與探空值大部分均在10Knots範圍內，但有些仍可高達30Knots，而造成追蹤結果與探空值比較偏大的原因可能是由於雲圖定位問題所造成的，因為利用簡易定位法來處理衛星資料定位問題時，雖然GMS的影像資料中亦提供了影像中心的經緯度為東經125度和北緯20度，因此利用此點經緯度值可修正簡易定位法所得到的位置值，亦即兩相比較可以得到修正值，再以此修正值作為修正其它各像元的參考依據，但是利用影像中心點來作校準只能使中心點與其臨近周圍各點的經緯度值較準確，而對於影像外圍部份的經緯度值則誤差會較大，且隨著距離中心點位置越遠其偏差值越大。所以只以一個修正值來作校正並不能保證全部像元的座標值都很正確，若可能應加入較多的陸標經緯度值來作修正。

雖然在求風速時由於需要兩個位置座標相減，因此可能已經扣除了二點的可能偏差，但因為其為兩張不相同影像上的像元座標，因此其偏差值並不一致，因此亦有可能形成偏差加成的現

象。同理，座標值的偏差亦會造成風向上的誤差，但是此誤差一般會較風速的偏差為小，因為在方向的計算是將Y方向的距離除以X方向的距離，所以風向的誤差理論上有可能會較小。

針對定位問題的改善可利用衛星的軌道和姿態，配合已知輻射計的掃瞄方式，求得影像上各視點的經緯度，再以影像上的陸標來修正各個像元的經緯度值。利用此方法得到的結果會較利用簡易定位法得到的結果為佳，因此應可增進計算風向風速的準確度。此外本研究所使用之GMS-4 IR影像，其地面解析度約為 $5\text{km} \times 5\text{km}$ ，假設定位誤差為一個像元，則此對於風速而言便可造成約 1.4m/s 之基本誤差。不過此誤差將可藉由選取較多之陸標或加入可見光雲圖，以縮減誤差之大小。

由於探空測站之觀測資料在與本研究之衛星風場比較驗證時，由於時空上之差異，甚容易造成驗證結果上之困擾，因此未來若能與數值模式之網格點資料互相比對驗證，相信對本研究估算方法之修正與未來之應用性將有很大的助益。

(2)造成追蹤結果與探空資料不一致的另一主要原因可能為雲高估算誤差造成不同高度資料的比較而來，雖然在三點法中利用多組資料可以求得較好的雲頂溫度，但是當雲頂平面起伏變化較大時，則雲區的亮度溫度頻數分布並不是理想的正態分布，因此得到的雲頂溫度會較難具代表性，因此造成雲頂高度的誤差，此誤差在本研究中研判可能為所有追蹤過程中影響結果最大的一項。

高度所造成的誤差未來可藉由只選取雲頂平面較平坦或者結構較緊密的雲塊作為追蹤雲塊，以降低雲頂溫度誤差。此外亦可利用二個衛星資料來估算雲高的方法，亦即將不同衛星在同時所拍攝的雲圖以立體對 (stereo pair) 法求得兩張雲圖重疊區域的雲高，不過此方法只限用於同時有二顆衛星觀測及其影像重疊的區域。

此外，應用空間相干法以求得準確的雲頂溫度，或利用多頻道的二氧化碳吸收法等計算準確的雲頂高度，均為未來值得研究的方向。

(3)利用互相關法追蹤雲塊的移動情形，所使用的資料來源並不只限於使用紅外線雲圖或可見光雲圖，也可以利用水汽頻道，而應用水汽頻道還有另外一項優點，因水汽主要分布於近地面層，因此可求得較近地面層之風場。最近GMS-5已多增加了雙頻紅外窗區頻道和水汽頻道，因此不但可以利用其雙頻窗區頻道來估算較準確的雲高，而其水汽頻道($6.7 \mu\text{m}$)雖為中層水汽頻道，但其權重函數(Weighting Function)亦涵蓋了近地面層，故可用來求取近地面層之風場以輔助可見光或紅外線窗區頻道進而求得各高度層的風場。

誌 謝

本研究承蒙國立中央大學太空及遙測研究中心在衛星資料、電腦使用和各方的協助下，得以順利完成。以及廖于華和林佳慧對於本研究之文圖製作設計和編輯上的協助，在此一併致上最誠摯的謝意。本研究在國科會專題研究計劃，編號NSC83-0202-M-008-028，支持下完成。

參考文獻

- 曾忠一，1988：大氣衛星遙測學。渤海堂文化事業公司。第五章及第七章。
- 顏泰宗，1990：衛星風場之初步研究。中央氣象局計劃編號329號。
- 沈秀蓉、陳雯美與王文隆，1993：GTS中SATO B衛星風場資料品質分析報告。中央氣象局衛星中心技術報告第8202號。
- Bauer, K. G., 1976：A comparison of cloud motion winds with coinciding radiosonde winds. *MWR*, **104**, 922-931.
- Fujita, T. T., D. L. Bradbury, C. Merrino, and L. Hull, 1968：A study of mesoscale cloud motions computed from ATS-1 and terrestrial photographs. SMRP No.71, dept. of geophysical sciences, Univ. of Chicago, Chicago, 25pp.
- Hubert, L. F., and L. F. Whitney, 1971：Wind estimate from geostationary-satellite picture. 99, 665-672.
- Leese, J. A. and C. S. Novak, 1970：An automated technique for obtaining cloud motion from geosynchronous satellite data using cross correlation. *J. Appl. Meteor.*, **10**, 118-132.
- Suomi, V. E., R. Fox, S. S. Limaye, and W. L. Smith, 1983：McIDAS III: A modern interactive data access and analysis system. *J. Climate. Meteor.*, **32**, 766-788.

Applying Geostationary Satellite Data to Estimate Wind Field of Eastern Asia Area

Gin-Rong Liu Jiann-Yau Shyu Tang-Huang Lin

Center for Space and Remote Sensing Research
National Central University

ABSTRACT

Normally the traditional radiosonde station just observes twice daily. And usually the stations locate in the land area where are dense in population. Thus, not only the time resolution is worse in atmospheric motion data, but also the data are scarce in the areas of wide open ocean, mountain, desert and jungle. Therefore, there exist larger data-scare area in the traditional radiosonde observations no matter in space or in time. Because one can receive the observing data of 2 to 4 polar orbital satellites daily, the time interval of observations of the polar orbital satellites is less than 6 hours. Besides, the geostationary satellite can provide 1 or half hour interval observations every day. And the satellite observing coverage is wide and continuous in space. These will make the satellite observations superior than the traditional radiosonde observations in time and space resolution. Thus, this research tries to apply geostationary satellite data to estimate the wind field of East Asia in order to increase the wind data in the wide open ocean or less population area where traditional observations are scarce.

Typically the geostationary satellite observed cloud images are used in monitoring the development of weather systems. But owing to its excellent time resolution, it is also good in estimating cloud motion. Because almost all the cloud motion cause from the blowing of wind, the cloud motion can represent the wind of the cloud level. Therefore through the measurement of every individual cloud motion in East Asia the wind field of this area can be estimated. Cloud images observed by the Japanese GMS-4 geostationary satellite in every hour are tracked in this research. The movie loop is applied to choose the tracked cloud, and the cross-correlation method is used to determine the speed and direction of the cloud motion. The speed and direction of the wind is estimated from the speed and direction of the cloud motion. The height of the wind is determined by compared the vertical temperature profile and the cloud top temperature observed by GMS-4 IR channel. Finally the wind field is compiled by removing the unrealistic wind. The results of this wind field estimation are compared with the radiosonde observations to verify its accuracy.

Four GMS-4 IR data are used in this study, and the results are compared with the radiosonde observations. The percentage of those difference less than 30 degrees in wind direction is about 66.3% and the percentage less than 15 knots in wind speed is about 90.2% of the samples.

Key words :Wind field, Satellite remote sensing.