

TAMEX 期間 CAA 都卜勒雷達資料的特性與檢訂

周仲島 鄧秀明

臺灣大學大氣科學研究所

財團法人資訊工業策進會系統工程處

(中華民國八十二年六月十日收稿；中華民國八十二年八月十五日定稿)

摘 要

近年來各相關作業單位陸續裝設都卜勒氣象專業雷達，並積極進行全省雷達系統網聯計畫，以改進現有短期(12-24小時)與極短期(3-6小時)劇烈災害天氣的預報能力。如何正確的處理、分析以及詮釋都卜勒氣象雷達所提供的近乎即時之中尺度及對流尺度風場和降水回波場資料，成爲國內從事天氣研究或預報作業氣象人員共同努力的目標。本文針對中正機場 C 波段都卜勒氣象雷達在 1987 年 TAMEX 期間資料的蒐集與儲存、可能誤差形成、誤差檢訂方法、資料統計特性等，使用 TAMEX 實例予以詳細說明。同時討論時間誤差校正過程在雙都卜勒合成風場計算時的重要性，以及評估三維風場計算結果的可能誤差範圍。

結果顯示，由於 TAMEX 期間資料前置處理軟體設計不當，使得中正機場都卜勒氣象雷達觀測收集的資料之實際徑向解析度遠較原先設計之一公里爲低。平均而言，在離雷達七十公里範圍內之徑向解析度大約爲 1.5 公里，離雷達越遠其資料可使用度相對越低。雙都卜勒合成水平風場的平均誤差，若不包括風場資料處理的可能誤差及分析時的誤差，大約是 1 ms^{-1} ，垂直風場大約是 $2-3 \text{ ms}^{-1}$ 。在進行雙都卜勒資料合成前，時間誤差的校正，將使得合成結果顯著改善。

關鍵詞：都卜勒雷達、民航局中正機場、臺灣地區中尺度實驗、資料特性、資料檢訂、最小可解析尺度

一、前 言

中正機場都卜勒雷達（簡稱 CAA）於民國七十六年 4 月架設完成，並於 5、6 月間參與臺灣地區中尺度實驗（TAMEX）計畫，觀測了許多伴隨鋒面系統的對流現象以及臺灣地區內部自行發展的對流系統，提供了許多研究臺灣地區中尺度天氣現象最迫切需要的珍貴資料。由於整個雷達系統係國內初次使用，而且以往經驗缺乏分析數據資料的背景，因此在資料的處理、資料的特性、以及資料的檢訂等工作方面缺乏整體性的考量¹。本研究群經由過去五年持續使用 CAA 都卜勒雷達資料進行臺灣地區中尺度降水系統的研究（周，1993），對於資料的一些統計特性以及檢訂方法累積少許經驗。由於八十年空軍氣象聯隊已在清泉崗架設另一部 C 波段都

¹都卜勒雷達在短期天氣預報的應用與發展，可參考王陳(1990)之論文。論文中特別提及雷達網聯的需求，雷達對降水的估計與預報，都卜勒雷達風場對短期天氣預報的應用等工作的重要性。

卜勒雷達，中央氣象局也預定在八十四年於臺灣東北角五分山架設一部S-波段、WSR-88D屬NEXRAD級之都卜勒雷達，可預見將來使用都卜勒雷達資料進行中尺度天氣現象的研究與預報工作將大幅增加，因此對都卜勒雷達資料的處理與應用之需求亦將持續擴大²。

本文總共分成下面幾個章節，包括：CAA都卜勒雷達資料搜集和儲存方式、資料誤差形式、資料檢訂方法、資料統計特性等。並討論台灣地區中尺度實驗計劃(TAMEX)期間使用雙都卜勒雷達求取三維風場時，資料時間上一致性的檢訂方法及合成風場的誤差估計。

二、資料搜集、儲存與誤差形式及檢訂方法

(一)資料搜集、儲存與誤差形式

CAA都卜勒雷達共儲存三種不同的原始資料，包括降水回波強度、徑向速度和波譜寬度。這些資料都是透過雷達波束以固定仰角，作360°掃瞄所得到的圓錐面資料。不同仰角的圓錐面資料構成一組完整的掃瞄體積，一組掃瞄體積有10、12、或20個圓錐面的資料，視掃描策略而定。一個固定仰角的圓錐面共有420個方位角的資料。雖然CAA都卜勒雷達最大掃瞄半徑是120公里，取樣間距(range bin)為83.3公尺，但為了節省電腦儲存空間，透過前置處理器累積回波強度及徑向速度值予以12點平均，使得資料的距離單元(gate)變為1公里，即每個方位角僅有120點。

在每個掃瞄體積的資料檔案內，包括說明資料型態的檔案頭和資料本身兩部份。先以檔案頭為起始儲存，接著連續存放以byte為單位的資料。由於資料相當龐大，因此需將資料檔內的資料(不包括檔案頭)作進一步的壓縮處理，以便節省錄存的磁帶。

在資料壓縮過程中，常將最高仰角的最後一段資料漏去不錄，雷達掃瞄是從最高仰角順時鐘方向掃瞄至最低仰角。雷達掃瞄速度大約是1分鐘旋2.4圈，因此12個仰角的掃瞄時間約為5分鐘左右。

除了上面所述最高仰角會缺失最後一段方位角的資料外，尚有因為遺失1至2點資料所產生的空間位置定位誤差。由於這種遺失資料所產生的誤差，會使得我們對天氣系統的空間定位產生1至2公里的誤差，因此這種誤差必須予以校正，否則在利用雙都卜勒雷達求取水平風時，其導致的誤差將會更大。

CAA都卜勒雷達對於取樣間距點之回波強度由於地面雜波影響發生溢位時(threshold Z_i 26 dB)，其前置處理軟體將自動將其數值予以剔除。若某一距離單元(12點平均)的取樣間距之溢位個數大於設定值，則該距離單元設定為沒有觀測資料，此時回波強度和徑向速度就會發生缺失的現象。此種資料缺失的現象，會使得原為1公里距離單元的徑向解析度降低。

CAA雷達的最高可精測風速(Unambiguous velocity)為 ± 48 m/s。在鋒面系統下，水平風速極少能夠超過此一數值，因此速度場摺錯(velocity folding)問題所產生不合理的徑向速度將不存在。但在某些特定區域，尚有一些不合理的值存在。發生不合理的徑向速度特定區域大都是

²依據中央氣象局最新資料，中央氣象局預計在民國八十五年底以前換裝或新建的下一代S波段都卜勒雷達站共有四處，北部地區東北角五分山，東部地區原花蓮雷達站，南部恆春半島墾丁公園南端，以及臺南縣七股鄉等地。配合民航局現有之中正機場及空軍清泉崗機場C波段都卜勒雷達，形成涵蓋全省各地區之都卜勒雷達網聯系統。

在近雷達中心附近及因地形而產生缺失資料的區域，而在高仰角錐面的資料較少有這種現象發生。顯示此種不合理徑向速度的發生是受地面或地形雜波干擾的結果。

(二) 資料檢訂方法

1. 資料遺失的檢訂方法

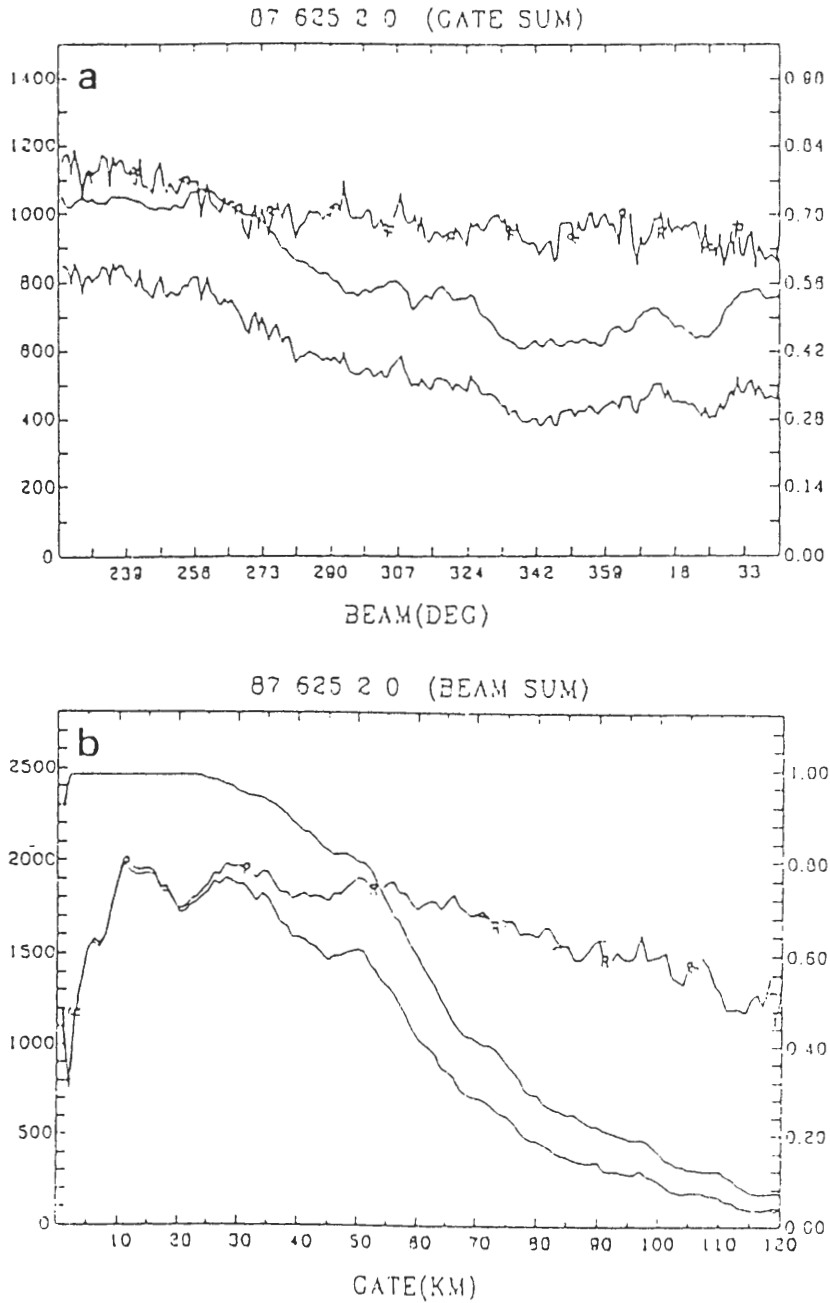


圖 1

對資料遺失的檢訂，首先可從每個方位角前4個byte的觀測時間資料檢查出來。當確定缺少資料的方位角後，自動補上資料即可。由處理資料的經驗，資料的缺失通常是在遺失方位角的最後幾個資料，因此補上的資料不影響以後的分析結果。

2. 不合理徑向速度的檢訂

徑向速度場的檢訂可利用客觀條件自動剔除不合理的徑向速度。一般採用的客觀條件如下：

- (1) 首先確認天氣系統最大可能出現的速度極值，當徑向速度的絕對值大於此極值時，則視為不合理的資料。
- (2) 回波強度為負值時，徑向速度認為是不合理的資料。

經過客觀條件剔除不合理的資料後，尚有許多不合理的資料存在，其存在位置相當不規則。因此若為了保留較多正確的資料，我們可採用各個錐面上，每個距離單元資料逐元檢訂的方式進行。

三、資料的統計特性：可解析最小空間尺度評估

資料經過檢訂後，發現不合理的資料數佔整個資料數的比例為3-5%，其中最低仰角錐面的不合理資料數佔相同錐面之資料數的比例最高，可達5-7%。

為了解檢訂後可用資料的統計特性，我們將相同方位角、不同仰角、不同gate的資料和相同gate、不同仰角、不同方位角的資料加以統計，所統計的方位角範圍從222°到42°（涵蓋台灣西北外海區域）最大可能的資料取為120 × 12個（圖1.a）；gate的範圍從1公里到120公里，最大資料數為210 × 12個（圖1.b）。這些統計特性是指在不同方位角或不同gate之下，經過檢訂後的可用資料數與可能觀測到的資料總數（加上不合理資料和缺失的資料）二者的比值。由這個比值可以推算出可用資料的平均距離，而資料的平均距離則告訴我們資料所能解析的最小空間尺度現象。

由前面的討論可知，CAA都卜勒雷達單元間距為1公里。若假設觀測到的資料是連續分布且皆為可用，則在相同方位角的資料平均距離應為1公里。從圖1.a可知，在相同方位角、不同仰角和不同gate的可用資料數與資料總數的比值為0.6至0.8，由此可推得可用資料在相同方位角的資料平均距離為1.3 (1/0.8) 到1.7 (1/0.6)公里。

圖1.b的統計比值顯示gate 1公里至10公里由0.3迅速增加到0.8；10公里至110公里則從0.8減少到0.6；110公里至120公里由於資料總數少於300個，不具統計意義，因此不予考慮。1公里至10公里的比值相當的小，此意謂著靠近雷達10公里內的缺失資料和不合理資料相當的多。

由於固定gate鄰近方位角的資料平均距離隨距離雷達遠近有所不同，因此有必要進一步說明這些比值所代表的意義。圖2是由這些比值推得可用資料在不同gate的平均距離和平均角度差。圖中長虛線為固定角度差 0.857° ($=0.857^\circ / 1.0$)所計算之不同gate的資料平均距離；短虛線是假設gate 10公里到110公里的比值從0.8線性減少至0.6所推得的資料平均角度差，其範圍從 1.07° ($=0.857^\circ / 0.8$)到 1.43° ($=0.857^\circ / 0.6$)；實線則是資料平均角度差所推得的資料平均距離，可知其範圍從0.2公里到2.7公里，其中小於70公里gate的資料平均距離不超過1.5公里。

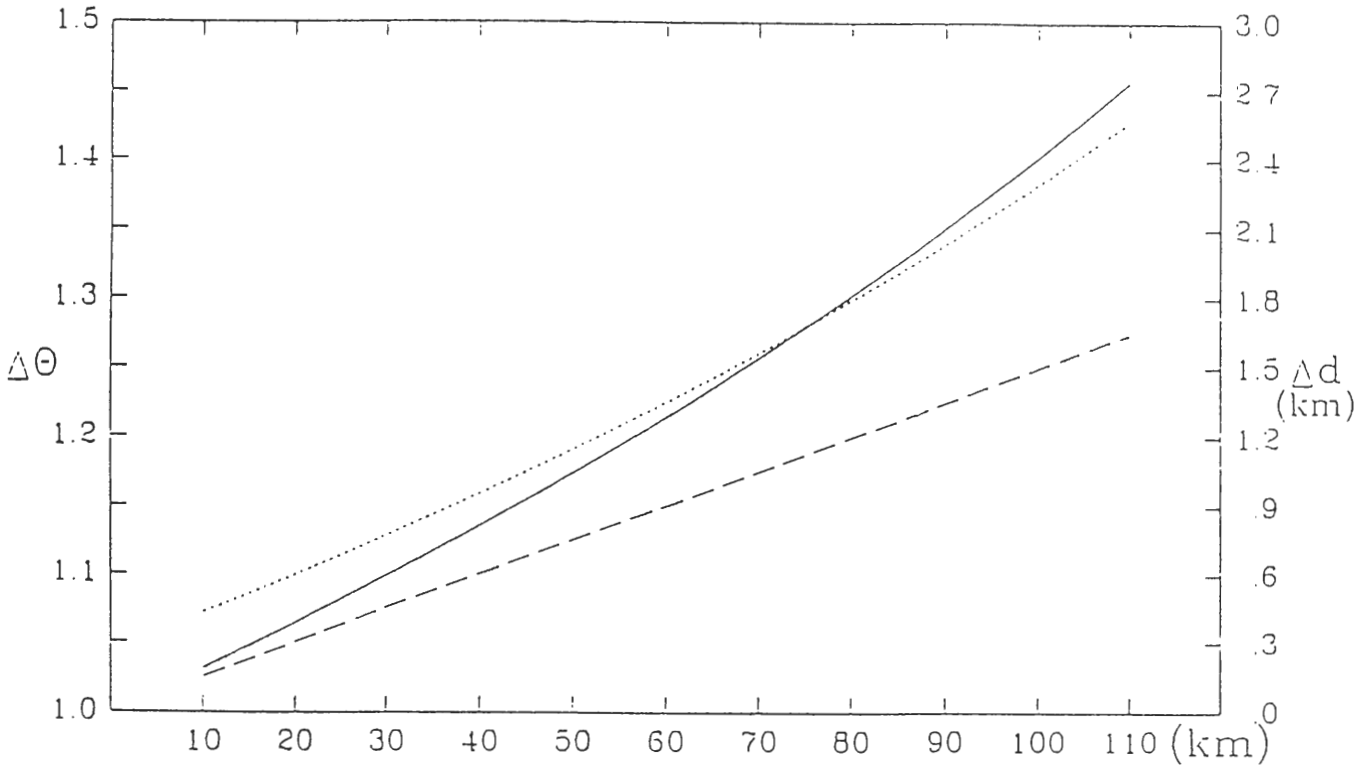


圖2

四、合成風場之誤差估計

(一)資料一致性的檢訂

在利用雙都卜勒雷達資料求取三維風場時，需先檢視使用兩個獨立觀測的資料合併在一起後，其結果是否具有一致性以及可能隱含的誤差，我們試著使用 Gal-Chen (1982) 的時間誤差觀念，以及 Ray and Sangren (1983) 速度估計的誤差統計分析進行下面的討論。而這些討論皆是以 TAMEX 期間觀測結果來說明。

圖3為CAA與CP4(屬NCAR雷達，當時所在位置在苗栗、外浦)兩組相鄰十分鐘之雷達回波強度資料之時間-空間相關係數圖。由圖中可知CAA資料每經過一種時間誤差(系統平移和系統演變)校正的處理，相關係數就提高2%至5%。當資料完全經過兩種時間校訂處理後，全部的相關係數皆可達92%以上。此結果顯示時間誤差校正的必要性，而校正後的資料亦顯示時間連續的一致性。圖中CP4雷達回波強度資料經過時間校正後的相關係數皆低於89%，此結果與CAA資料的結果相當不一致，其原因可以用兩個雷達回波強度的差值來說明。

圖4為同一組資料CAA與CP4雷達回波強度資料在不同高度6個時間差值的平均圖。圖中顯示差值較大值發生於低層固定區域，其值可達25 dBz以上，且差值強度隨高度遞減。分析CP4低層PPI回波強度的資料，發現在空間上有不連續的現象，此亦可說明CP4資料具有較小的相關係數值。由過去的研究經驗指出，在無地形影響情形下，回波強度低估的原因可能與雷達波

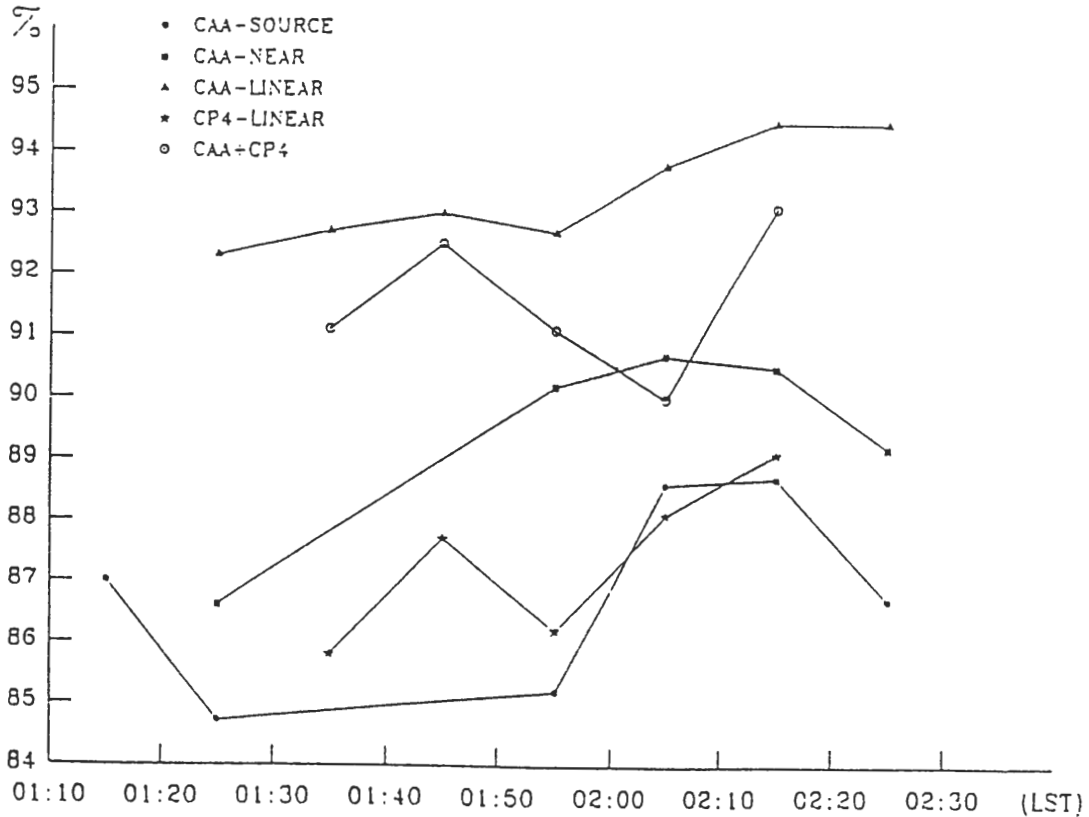


圖3

束經過強對流區產生衰減的現象有關。但檢查 CP4 低層 PPI 上的資料，雷達波束路徑上並沒有大回波存在，顯示回波衰減的現象並不是對流區回波衰減所造成，其真正的原因到目前並不清楚。

(二) 合成風場的計算與誤差

合成水平風場的計算可參考 Lin et al. (1986)。合成後之水平風場可利用連續方程式由上往下積分求取垂直速度。在接近雷達或弱回波區，高層缺失資料的地方，則作特別處理。我們取有資料的最高高度之上半公里處為上邊界條件，並從此高度往下積分，此種作法有時會低估所求得之垂直速度。若缺失資料的區域僅佔少部份，將不影響分析的結果。

圖5為水平速度分量 u 、 v 經由不同處理方法所得到的相關係數圖。圖中顯示 1987 年 6 月 25 日 01:40 LST 與 01:50 LST 及 02:20 LST 與 02:30 LST 相關係數較小。對於前者較小的原因是因為 CAA 並無 01:40 LST 時間的資料，是透過線性內插的結果；對於後者（尤其是圖 5b 之 v 分量相關係數）是由於 02:30 LST 時間的資料與 02:20 LST 時間的資料較少一致性，由後面的結果也顯示此系統在 02:30 LST 的時間，變化相當的大。由 u 、 v 分量相關係數（圖 5）顯示資料透過時間誤差的檢訂有助於提高資料在時間上之一致性，減少因時間的差異所造成合成風場的誤差。

根據 Ray and Sangren (1983) 統計分析結果，雙都普勒雷達合成水平風場的誤差來源主要是來自兩個雷達之徑向速度誤差和雨滴終端速度誤差。我們假設雨滴終端速度誤差變異數為 1

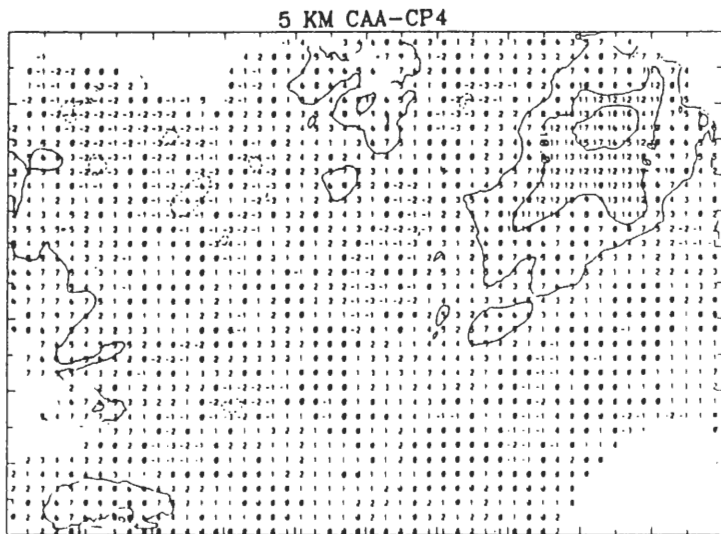
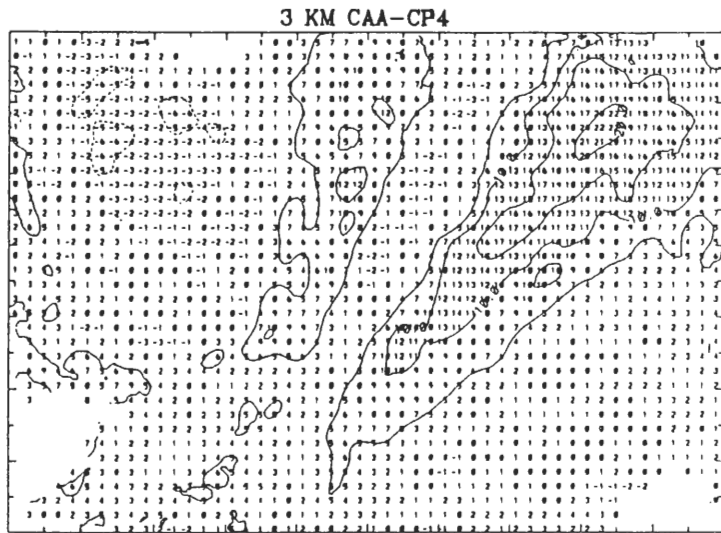
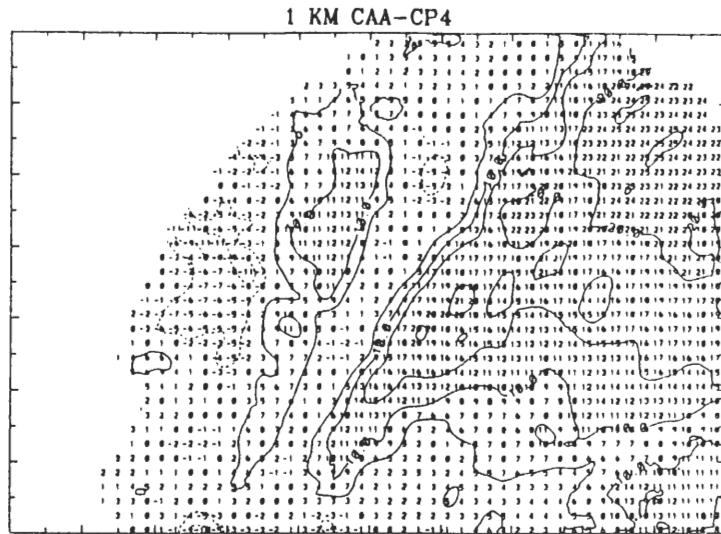


圖 4

m^2s^{-2} ，計算CAA與CP4之徑向速度誤差的變異數，結果顯示兩個雷達之徑向速度誤差的變異數皆不超過 $1 m^2s^{-2}$ ，而且各雷達之徑向速度誤差的變異數與雷達距離成線性關係。計算所得到的u、v速度誤差的變異數結果顯示在靠近雷達基線（base-line）的區域合成速度誤差較大外，誤差變異數的變動範圍皆在 $2 m^2s^{-2}$ 以內。值得注意的是，u和v誤差的分佈並不相同，顯示在分析範圍的同一網格點上，視雷達的相對位置其東西及南北方向速度分量的可能誤差並不相同。

由合成風場誤差的分析可知，合成風場最大的誤差約為 $1 m/s^{-1}$ 左右。由合成風場的誤差可估計最大水平輻散／輻合場的誤差大約為 $1 \times 10^{-3}s^{-1}$ 。由輻散／輻合場的誤差則可估計垂直速度的最大誤差約可達 $3 m/s$ 左右。

五、結論

近年來各作業單位陸續裝設都卜勒雷達，並積極規劃全省自動化通訊之雷達網聯系統，以加速改善現有短期及極短期劇烈天氣或災害天氣的預報能力。如何正確的處理、分析以及詮釋都卜勒天氣雷達所提供的近乎即時之中尺度及對流尺度風場與降水回波資料，已成為國內從事天氣研究及預報研究人員之共同努力的目標。有鑑於此，本文針對國內最早架設中正機場之C波段都卜勒天氣雷達的資料蒐集與儲存方式、資料可能誤差形式、誤差檢訂的方法、部份資料的統計特性等，使用TAMEX期間的實例予以詳細說明。同時說明TAMEX期間使用CAA及NCAR CP4雙都卜勒雷達資料求取合成水平風場，資料時間誤差檢訂過程在計算合成風場的重要性，以及評估三維風場計算結果的誤差。在本文中所使用的資料樣本顯示中正機場都卜勒天氣雷達的資料點間距離為1公里，但由於資料前置處理軟體的設計，使得實際徑向解析度遠較1公里為差，平均而言，在離雷達70公里內之範圍其解析度大約為1.5公里。合成水平風場的平均誤差大約是 $1 ms^{-1}$ ，垂直速度則可達 $2 - 3 ms^{-1}$ 。

應用都卜勒雷達資料進行天氣現象研究或預報作業應用，除了本文中所討論在資料處理上可能遭遇的困難外，在臺灣地區由於地形陡峭複雜，對於雷達資料品質的影響尤其顯著。這一方面的討論我們將另文予以詳細說明。如何使用單都卜勒雷達所觀測之徑向風場與降水回波資料，進行中尺度天氣系統的結構與演化之分析工作，將是我們未來研究工作的一個重點。

誌謝

本文得以順利完成，首先要感謝交通部民航局氣象中心以及中正氣象台在雷達資料及處理方法資訊的提供。柯宗興（現任職臺灣電力公司）在雷達資料解碼上的協助，使得中正機場都卜勒雷達資料得以順利解出使用。台大大氣系P-3資料研究室助理張文瑜（現在美留學）在電腦軟硬體上的支援，使電腦資料分析工作得以順利進行。黃雪芬的打字、黃遠生的校稿、梁仁弘的排版在此一併致謝。本文在國科會專題研究計畫NSC82 - 0202 - M - 002 - 077部份支援下完成。

參考文獻

王陳台琦, 1990: 雷達在短期預報應用之發展。中央氣象局天氣分析與預報研討會論文集編, 臺北

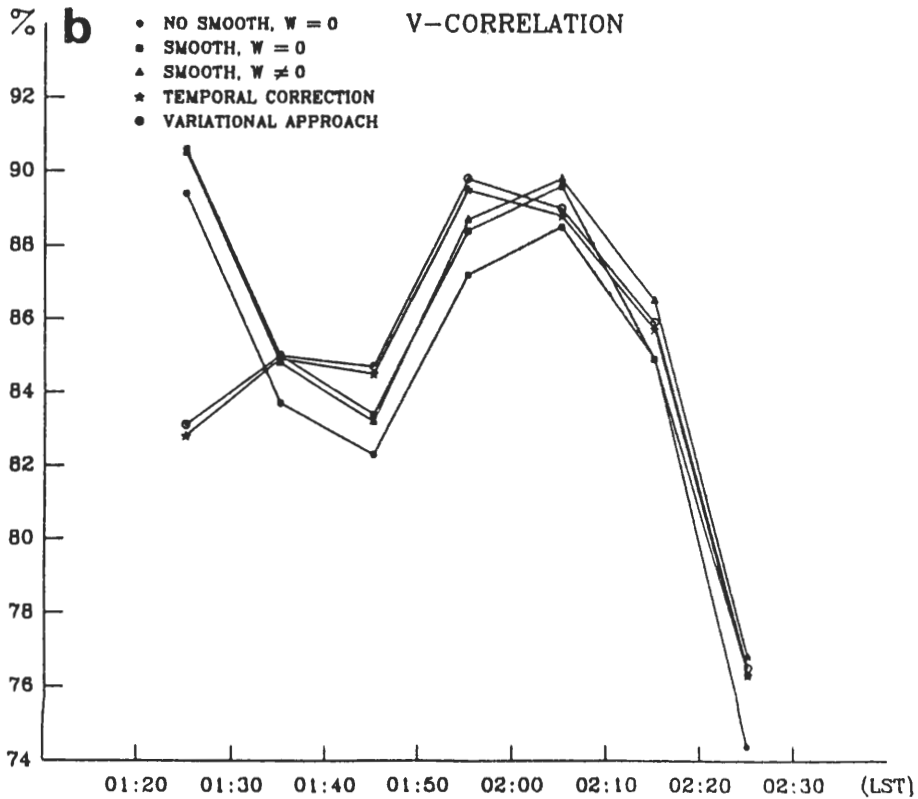
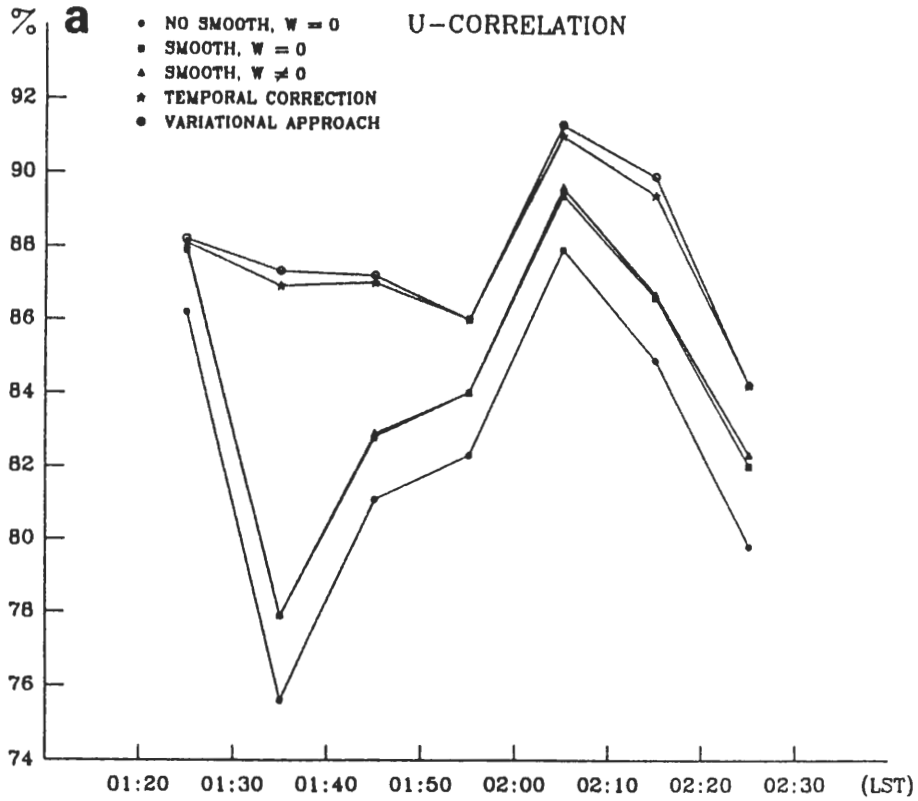


圖 5

, 1990年5月3 - 5日, 3 - 12頁。

周仲島, 1993: 臺灣地區中尺度降水系統觀測研究。臺灣大學大氣科學研究所科學報告, 臺北, 臺灣, 192頁。

Gal - Chen, T., 1982: Errors in fixed and moving frames of reference : application for conventional and Doppler radar analysis. *J. Atmos. Sci.*, **39**, 2279 - 2399.

Lin, Y.-J., T.C. Wang and J.H. Lin, 1986: Pressure and Temperature perturbations within a squall-line thunderstorm derived from SESAME dual-Doppler data. *J. Atmos. Sci.*, **43**, 2302 - 2327.

Ray, P.S., and K.L. Sangren, 1983: Multiple - Doppler radar network design. *J. Climate. Appl. Meteor.*, **22**, 1444 - 1454.

CAA Doppler Radar Data Characteristics and Corrections During TAMEX

Ben Jong-Dao Jou and Shiung-Ming Deng

Department of Atmospheric Sciences
National Central University

ABSTRACT

CAA Doppler radar data characteristics, including data collection, storage, and errors associated with data processing are described in this paper. The possible error checking methodology and correction procedures are also given. The minimum resolvable scale obtained from CAA Doppler radar data during TAMEX period is discussed. The results show that the resolution in the radial direction actually is only about 1.5 km instead of 1 km as original design suggested. This is partly due to high threshold of ground clutter suppression and data averaging procedures. The errors related to the time correction when applying to dual-Doppler winds and the vertical velocity are 1 m/s and 2 - 3 m/s, respectively when time correction procedures are performed.

Key Words: Doppler radar, CAA, TAMEX, data characteristics, data corrections, minimum resolvable scale.