

氣象資料視覺化的應用： 亞洲夏季季風環流的演變

林博雄 陳英浩
台灣大學大氣科學系
張然峰
台灣大學醫學院

摘要

氣象人員目前在面臨大量的傳統觀測與非傳統觀測天氣資料的分析與診斷工作，必定體認到過去簡單的平面圖表翻閱比對方式，以及透過專門術語才能解釋氣象資料特性與意義的困境；由於現階段電腦計算能力以及顯示功能的長足進步，以及資料分析軟體的推陳出新，科學視算的理念已經結合各學門領域，將科學真相以資料視覺化的方式來進行認知與教學的工作。

目前國內氣象界在資料視覺化的實踐，以中央氣象局自美國NCAR/NOAA引進的WINS系統為首，不過該系統設計功能是針對作業單位天氣預報的時效性，即時處理與整合天氣資料。本文利用一些商用電腦應用軟體，融入在自行撰寫的視窗使用介面，經由多媒體個人電腦平台來展示文件以及氣象圖檔，嘗試以資料視覺化方法來介紹亞洲夏季季風環流演變過程。經由大氣科學科系不同等級的學生使用後反應的調查結果發現，簡易操作的視窗介面以及資料視覺化的方法，確實能生動並有效地傳達亞洲夏季季風氣候特徵給予使用者。本文認為，透過普級的個人電腦設備就能表現氣象資料視覺化的效果，適合做為資料分析研究用途與成果展示，並且值得進一步發展到電腦輔助教學的用途之上。

一、前言

電腦科技帶來了模擬計算大氣環流以及客觀預報天氣的實現，甚至進一步透過電腦圖形處理的功能，透視大氣運動的過程。這種氣象資料視覺化構想的先驅，以美國Wisconsin大學的人機交談資料處理系統(Man-computer Interactive Data Access System, McIDAS)最為成功；該系統自1970年推出之後，持續擴充發展到今日的UNIX第四版本(<http://www.ssec.wisc.edu/software/mcidas.html>)，並曾全程支援1992年冬天於所羅門群島進行的「熱帶海洋—全球大氣/偶合大氣海洋實驗(Tropical Ocean-Global Atmosphere, Coupled Ocean and Atmosphere response Experiment, TOGA/COARE)」作業指揮中心資訊即時匯整的重任。

隨著電腦科技三十餘年的迭替發展，科學視算(scientific visualization)於1990年代興起，Wilhelmson (1988)所發表雷雨胞發展演變的數值動態模擬，是大氣科學界在現代科學視算領域中的最佳代表作品；此外，歐美氣象研究機構也緊追電腦科技腳步，陸續建立氣象資料視覺化的技術團隊，比如McIDAS系統繼續延伸出VIS-5D資料視覺化展示軟體(Hibbard and Santek, 1990)，可以經由網際網路免費取

得使用(<http://java.meteor.wisc.edu>)。美國國家大氣研究中心(National centre of Atmospheric Research, NCAR)的科學計算部門(Scientific Computing Division)之下成立了Visualization group(<http://www.scd.ucar.edu/vg/index.html>)；國際氣象大氣科學學會以及國際海洋物理學會(IAMAS/IAPSO)在1997年7月於澳洲默爾本舉行的聯合年會，也闡出「大氣—海洋動力過程視覺化(visualization of dynamic phenomena in meteorology and oceanography)」重點討論項目(<http://www.dar.csiro.au/pub/events/assemblies>)。

除了氣象研究領域之外，科學視算也在教學輔助應用方面也有不少作品，英國愛丁堡大學氣象系(<http://www.met.ed.ac.uk>)是推廣電腦輔助教學理念在氣象教學與訓練應用的重鎮。總而言之，科學視算推瀾下的資料視覺化效果突顯了兩項事實，一是科技理念的圖像化因應電腦硬體的進步而加速實現，二是電腦軟體的開發運用，彰顯了電腦硬體的神奇功能，成為科學知識大步前進的動力，因此各個學門領域無不嘗試連結其與電腦科技的互利關係。

台灣大氣科學學門在數值天氣模式的軟體引用上，以及高速電腦計算的需求上，並不落後於其它工程學門以及國外學術研究機構，但是在科學視算的圖形輸出上，過去一直是採用NCAR Graphic Package，並不強調視算軟體的開發或是資料視覺化的嘗試。面對眾多傳統

與非傳統天氣資料的整合與診斷上，仍然採取最簡單的平面圖表翻閱比對的方式，透過專門術語解釋氣象資料特性與意義，也惟有氣象專業人員才能瞭解圖文的涵意。

1992年中央氣象局引入NCAR/NOAA的Weather Integration and Nowcasting System(WINS)系統(周等，1992)做為預報中心的主力工具。WINS的確達到了天氣資料即時整合與診斷的功能，也讓學術界耳目一新，但是該系統耗費不貲並且相關建置人力數量不少。另外一套國內知名的氣象觀測資料即時整合平台，建置於國家科學委員會貴重儀器中心的NCAR/JSS 整合探空系統(林等，1994)之內，也是一套國外原裝的資料視覺化工具。至於電腦輔助教學軟體在氣象教學以及訓練的應用上，目前只見過中央氣象局衛星中心所引用的美國雲圖辨識教育訓練軟體。

林等(1996)首度嘗試建構一套視窗介面電腦軟體，做為大氣觀測資料即時分析以及教學示範使用。該視窗介面電腦軟體是植基於電腦工作站的UNIX作業系統以及 X window環境，以達到跨平台的普及性考量。但是為了進一步引用更多的聲音、動畫等多媒體功能，就遭遇了經費以及程式設計人力短缺的瓶頸。鑑於個人電腦中央處理器的快速發展、價格低廉，以及相關的多媒體應用軟體功能充足等諸多事實，該工作群決定將過去作品的理念延續到個人電腦平台上，科學內容則以林(1996)博士論文所探討的東亞夏季季風環流為試驗腳本。透過這一作品來探討以下二項問題：

1. 氣象資料在最普遍的個人電腦設備上所表達出來視覺效果？
2. 電腦輔助氣象教學的可行性，包括授課學生使用的反應？

第二節將概括介紹本文所引用的相關電腦應用軟體、氣象資料以及製作流程，第三節說明本文作品的架構與功能，以及其對亞洲夏季季風演變特徵的表達方式，第四節討論受訪者在使用這作品後感受，最後是結論以及未來方向的展望。

二、應用電腦軟體、氣象資料以及製作流程

現今臺灣地區甚至是全球的個人電腦作業系統主流是Microsoft微軟公司出品的Win95作業系統，Win95作業系統視窗架構可以透過Virtual Basic、Foxpro、Delphi等視窗管理應用軟體，由使用者自行設計、安排視窗畫面與按鍵功能；換言之，使用者可以自訂自我需求的

視窗交談環境介面(interface)，安排視窗選單(icon)內容以及其背後所連結的物件(object)；物件種類包含一般文字文件、聲音檔案、圖表檔案以及動畫檔案；並且由於中央處理器的快速處理功能，檔案的播放是可以多工性與即時性的。透過這些便利的電腦硬體與軟體功能，大大地縮短非電腦專業人員的程式設計時間，讓設計者更快地進行專業知識的內容編排，以及圖文聲音的美工修飾。

本文在應用電腦軟體引用方面，共計動用了五種個人電腦視窗應用軟體；視窗介面是採取Delphi 軟體所撰寫，動畫圖檔是採用AutoCAD R13軟體製作，以及利用Media-studio軟體製作動畫電影，圖型格式轉換與比例縮放是透過Corel Draw軟體以及Photo-shop 軟體。此外，一種工作站版本的PV-wave軟體被用來製作立體圖檔，GrADS(grid analysis and display system)網路共享繪圖軟體則被用來製作平面圖檔。

在氣象資料的引用方面，一是歐洲中長期天氣預報中心(European Centre of Medium-range Weather Forecast, ECMWF)的TOGA basic資料，一是美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, 簡稱NCEP)與NCAR合作，於1996年推出的reanalysis 重新分析資料(Kalnay et al., 1996)。這些資料都是全球尺度的網格數值資料，空間解析度是經緯各2.5度。

三、作品架構、功能與應用

首先介紹由Delphi視窗管理軟體所撰寫的視窗介面全貌，圖一是本文電腦作品在個人電腦Win95作業系統環境下的螢幕首頁畫面，畫面上有五種主要的功能選單出現，茲將各個選單內容稍做介紹：

「背景知識」選單/

這部份內容引用Webster(1986)談論的季風要件(elements)，以及國科會「東亞氣候之分析與模擬」研究群對東亞夏季季風所鑽研的現階段認知：

(1)季風氣候/

凡當地的盛行風向有明顯的冬夏季節反向的現象。冬季風由較冷的陸地吹向較暖的海洋，夏季則是由較冷的海洋吹向較暖的陸地，並且夏季潮濕、冬季乾燥。

(2)全球季風地區(圖二)/

夏季季風盛行地區計有：NET(northeast tradewind regime)，SET(southeast tradewind regime)，EAM(the east Asia monsoon)，

ISWM(the Indian southwest monsoon) ,
WafM(the west African monsoon) ,
NAmsW(the north American summer
monsoon) 。

冬季季風盛行地區計有：除了與夏季相同的
NET 與 SET , 另有 NEWM(northeast winter
monsoon) , ANWM(the Australian northwest
monsoon) , NAmWM(the north American
winter monsoon) , AfWM(the African winter
monsoon) 。

二張冬夏全球季風盛行區域的示意圖隱藏在
picture 按鍵之下，交由使用者自行決定是否觀
看參考。

(3)亞洲夏季季風/

簡稱爲ASM(Asian Summer Monsoon) , 其依發
生地區又再區分爲印度西南季風(ISWM)與亞
洲夏季季風(EAM)兩種。兩者之間有微妙的動
力關連，目前亞洲氣象學家正傾力研究它們的
區別，尤其是描述季風突然爆發(onset, 中文
稱呼爲“肇始”)

(4)印度西南季風與肇始/

印度西南季風在印度洋沿岸國家都有明顯的季
風氣候特徵。過去文獻主要集中在印度半島雨
季來臨以及雨帶北上的動力過程描述，索馬利
噴流是更具體的西南氣流最大風速軸。印度西
南季風肇始的跡象是以印度半島 南端日雨量
大於某值以上，即稱之爲季風肇始(或爆發)。

(5)亞洲夏季季風與肇始/

目前亞洲夏季季風的定義以及 指引肇始的有
效氣象參數，都不若印度西南季風被一致認
同，大陸台灣兩地學者對此一問題細節逐漸交
集，並且將在1997-1998年於南中國海進行密
集觀測計劃，南海被認爲是探討亞洲夏季季風
肇始的有利地理位置。

「亞洲夏季季風環流氣候特徵」選單(圖三)/

這部份內容是以傳統平面圖解方式，來
描述亞洲夏季季風四種不同高度(200mb高層
大氣、500mb中層大氣、850mb低層大氣，地
面)之上的環流特徵。圖文是利用GrADS軟體
套用NCEP/NCAR reanalysis dataset光碟片上的
氣候資料(1979-1994年)所製作。

「亞洲夏季季風環流立體動態」選單/

這部份內容綜合上述選單的平面性圖
文，更進一步以三種不同的資料立體視覺化方
式來展現季風環流的特徵。第一種是平面圖表
相互重疊的表現方式，使用者可自行挑選兩張
圖表以及更換等值線顏色來相互重疊，也可消
除疊圖動作重新再來(圖四)。

第二種方式是利用動畫播映工具，來觀
看亞洲夏季季風環流立體動態示意圖，有七種

視角點讓使用者選擇，它們分別是TOP view、
SE view、NE view、NW view、SW view、
CIRCLE view、Somali Jet view。TOP view是指
由青藏高原上空往下俯看，SE到SW視角位置
分別是指觀察者對青藏高原的相對位置。
CIRCLE view是指觀察者位置一直環繞青藏高
原而行，Somali Jet view則是指觀察者位置跟
隨著索馬利噴流移動，恍若御風而行。動態圖
檔播放之下緣同時有文字說明逐行出現，使用
者並可利用暫停、前進後退等按鍵，反覆觀看
亞洲夏季季風環流的建立過程(圖五)。

第三種方式是讀取由工作站平台PV-
WAVE軟體所預先製作的立體地形與網格氣象
參數相疊的立體展示圖(圖六)，由於一般網格
資料量相當龐大，即使是一般普級的工作站電
腦亦無法即時讀取資料又有立體展現圖形的效
果與速度，因此這一部份目前僅止於PV-
WAVE軟體效果展示，但在未來一年，工作群
將挪出時間另外製作PV-WAVE 軟體視窗介
面，以因應一般性研究工作對網格資料分析診
斷上的實際需求。

「研究重點」選單/

這部份列出了國科會贊助的「東亞氣候
之模擬與分析」研究群於1996年秋天，對於亞
洲夏季季風所設定的研究議題，包括：

(1)多重尺度的交互作用(圖七)

至少四種時間尺度需要考慮，瞬變
(transient)、季內(intra-seasonal)、季節
(seasonal)、年際(intra-annual)變化。它們的單
獨發生特徵以及交互作用都是急待了解。

(2)大氣下邊界面的強迫力影響

海面溫度、地表狀況以及它們的通量分佈與大
小對季風環流的影響，是全然未知的領
域。'97-'98年南海季風實驗將針對這一細節取
得觀測數值。

(3)水循環、能量轉換、季風環流之間的關係

潛熱通量是探討季風環流的動力與熱力能量轉
換環節的重要依據。

「參考文獻」選單/

列出中文(圖八)與外文等兩大類有關亞洲夏季
季風環流演變的文獻。

四、使用者抽樣調查

爲了確認第三節所談論的電腦作品視窗
介面的使用親和度，以及內文、圖表以及動態
圖的表現效果，本文隨機抽樣三十位台灣大學
大氣科學系大學部學生使用這份作品，並進行
第一次使用後的問卷調查，問卷內容如表一，
以取得日後作品修正的參考依據。由於台灣大

學大氣科學系的「天氣學」必修課程安排在大三學年，此外，另有林和教授開授的「季風」選修課程，這二門課程的事先認知程度將影響使用者的心理感知，因此將接受使用調查訪問的學生程度區分為三組：第一組為大二(含)以下或尚未修習以上兩種課程的學生，第二組為大三(含)以上學生但未修習「季風」該門課程的學生，第三組為大三(含)以上學生並修習「季風」該門課程的學生。問卷內容共有十題，其中第三題到第九題針對作品的整體性，以及上一節所敘述的五種選單，要求作答者以0分(很爛)到5分(挺有意思)，評估各道題目。有效問卷共計回收30件，表二記錄了學生等級以及第三題到第九題問題的平均分數以及標準差數值。30位學生對於第三題(整份軟體科學內容對亞洲夏季季風環流建立的闡述清晰度?)以及第四題(整份軟體視窗介面使用親和度?)，都接近4分(有意思)，標準差約0.6；各題中平均分數偏高的是第七題(「亞洲夏季季風環流立體動態」)與第六題(「亞洲夏季季風環流氣候特徵」)，而平均分數偏低的是第五題(「知識背景」)、第八題(「研究趨勢」)與第九題(「參考文獻」)。大體而言，受訪學生都持樂意態度看待這一軟體視窗介面的功能，尤其是內含平面或立體圖檔的選單單元；對於文字性的選單單元，一般使用者反應平淡。三組學生對於作品的內容認知程度，確實如預期般地隨著先修課程與否的因素而不同；第三組學生(已修習「天氣學」、「季風」課程的學生)最能接受這份作品。

受訪學生大都對於以下幾項缺點提出相同的建言：(1)單純性的文字敘述過於單調，語音說明功能將更有直接助益。(2)搭配圖表說明的文字過於簡略，圖表上的線條、色彩都缺乏詳細標示，使用者需要經過數次使用才能了解箇中涵意。(3)圖檔說明要清楚並中文化，因為只有大氣科學科系高年級學生才能經由檔案名稱得知檔案的大致內容。

至於科學內涵的表達方面，受訪者呈現兩極反應；第一組學生認為內容較生澀，而第三組學生則認為稍嫌簡單。換言之，作品內涵深度設計，需要事前確定使用者對象與程度，作品效果將會提高。

總括言之，這些受訪調查的定量評鑑或是口述意見，對於前言中所提及的兩項動機，提供了具體的回應；關於第一項動機「探討氣象資料視覺化的效果，是否能在最普遍的個人電

腦設備上表達出來」，使用者給予正面的肯定，雖然展示內容深度以及視窗介面不盡理想，但是確實給予使用者深刻印象。比如第三項選單下的「亞洲夏季季風概念動態」，受訪者一致認為它是作品之中最特殊最有趣的部份，大都一再重覆播放觀看。第二動機「探討電腦輔助教學用途的可行性，以及授課學生使用的反應」，回應上仍然算是欣慰的，但是如何更有效地應用聲音媒介、最佳化內容安排以及使用對象知識程度的設定，都需要加以修正改進。

五、結論與展望

鑑於電腦科技軟體與硬體功能的長足進步，氣象資料視覺化的理念，透過自行設計的電腦視窗介面將亞洲夏季季風環流建立過程的科學內容，由使用者自行與電腦互動式地認知學習；並經由大氣科學學門不同等級的學生使用後的抽樣調查結果發現，透過文件、圖表、聲音等多媒體方式的視窗介面，確實能生動並有效地讓使用者以較短時間以及較深刻的印象，認知亞洲夏季季風氣候特徵以及其環流的演變過程。對於「探討氣象資料視覺化的效果，是否能在最普遍的個人電腦設備上表達出來」以及「探討電腦輔助教學用途的可行性，以及授課學生使用的反應」兩項動機，都得到具體意見與正面肯定；換言之，對於未來資料視覺化研究工具的運用，以及電腦輔助教學在氣象上的應用，獲得了明確的方向。我們並已開始探討引用虛擬實境(virtual reality)概念與技術，來詮釋氣象變數的四度空間演變的可能。

電腦輔助教學的視窗介面對於季風氣候現象的應用，同樣製作理念也可以落實到其他學科，比如雲層的介紹以及辨識練習，天氣圖符號以及氣象電碼的認識，颱風發展與演變的概念過程，淺水波方程的波動傳播，雲物理的冰晶形狀模擬，彩虹成像光學原理模擬等等。這些具體的學術內容，有一部分正在進行，並將於CALmet 97 (Computer Aided Learning in Meteorology) 於澳洲墨爾本舉行的研討會上發表。

除了輔助教學的方向之外，這一份作品的理念是可以再延伸到研究或是預報作業的範疇上，理由是視窗介面上的文字標題或是其所控制的硬碟上的資料檔案，可以因應使用者的需求自行改變。本文所採用的技術功能，大部份取自個人電腦市場，並針對大氣科學學門的研究者對氣象資料的常用分析手法，設計可攜性很高的資料視覺化視窗介面，並擁有多媒體

化搭配功能。因此，我們有信心與能力來證明自製性的視窗介面，也能達到類似WINS的氣象資料處理與整合功能，而所耗經費只需要一個年度計畫的基本開銷。

致謝：

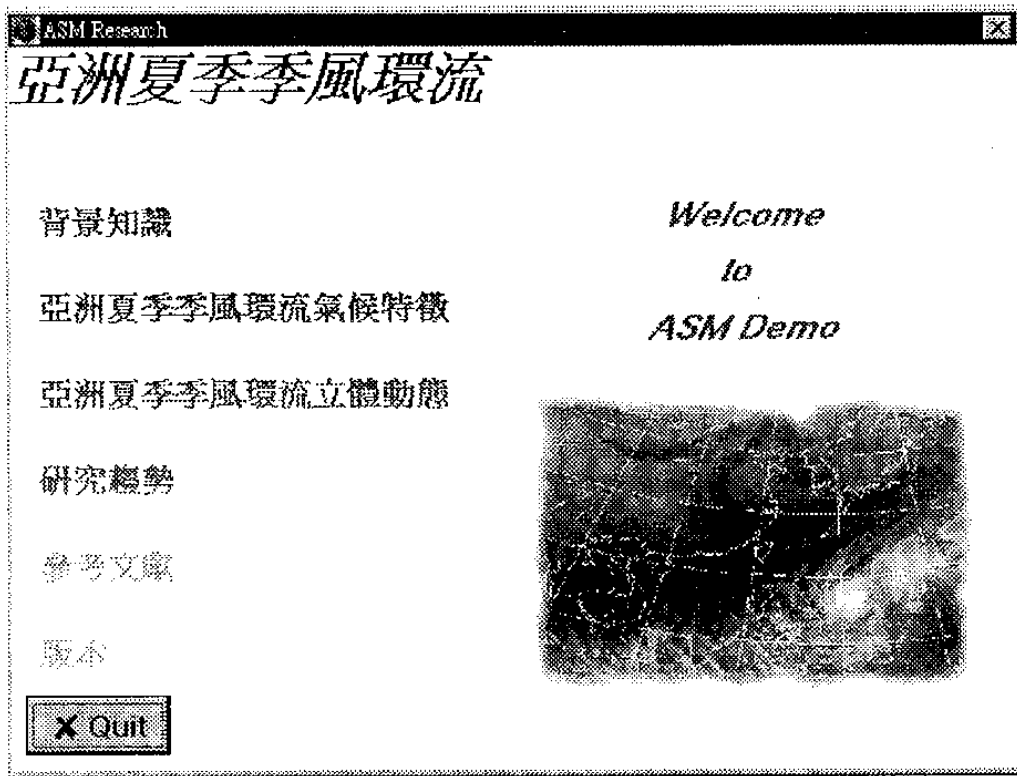
第一作者要向第二與第三作者，以及PV-wave台灣分公司劉泰興工程師、本系何孟翰與吳健銘兩位同學，對本文內容的電腦技術開發工作，所投入的時間、精力以及他們的專業水準，表示由衷的敬佩。

參考文獻：

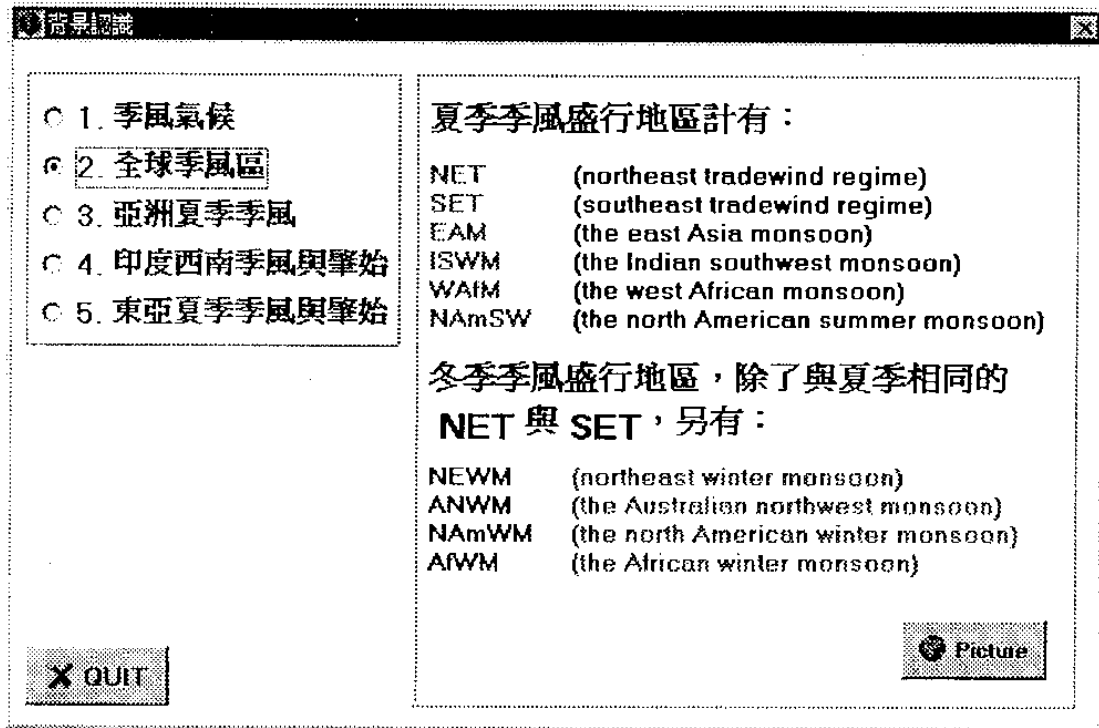
- 周思運、吳鳳娥、葉青青、陳雯美，1992：“WINS氣象產品製造(一)台灣地區即時密集觀測及填繪圖產品”。*天氣分析與預報研討會論文彙編*，中央氣象局，1992。
- 林博雄，1996：亞洲夏季季風環流與梅雨鋒。台灣大學大氣科學研究所博士論文。
- 林博雄、陳奕良、徐彰健，1996：“大氣觀測資料整合處理的電腦視窗設計”，*第五屆全國大氣科學研討會論文彙編*，238-245。
- 林沛練、劉振榮、陳台琦，1994：“台灣先進

氣象觀測儀器與相關研究”。*大氣科學*，22，479-522。

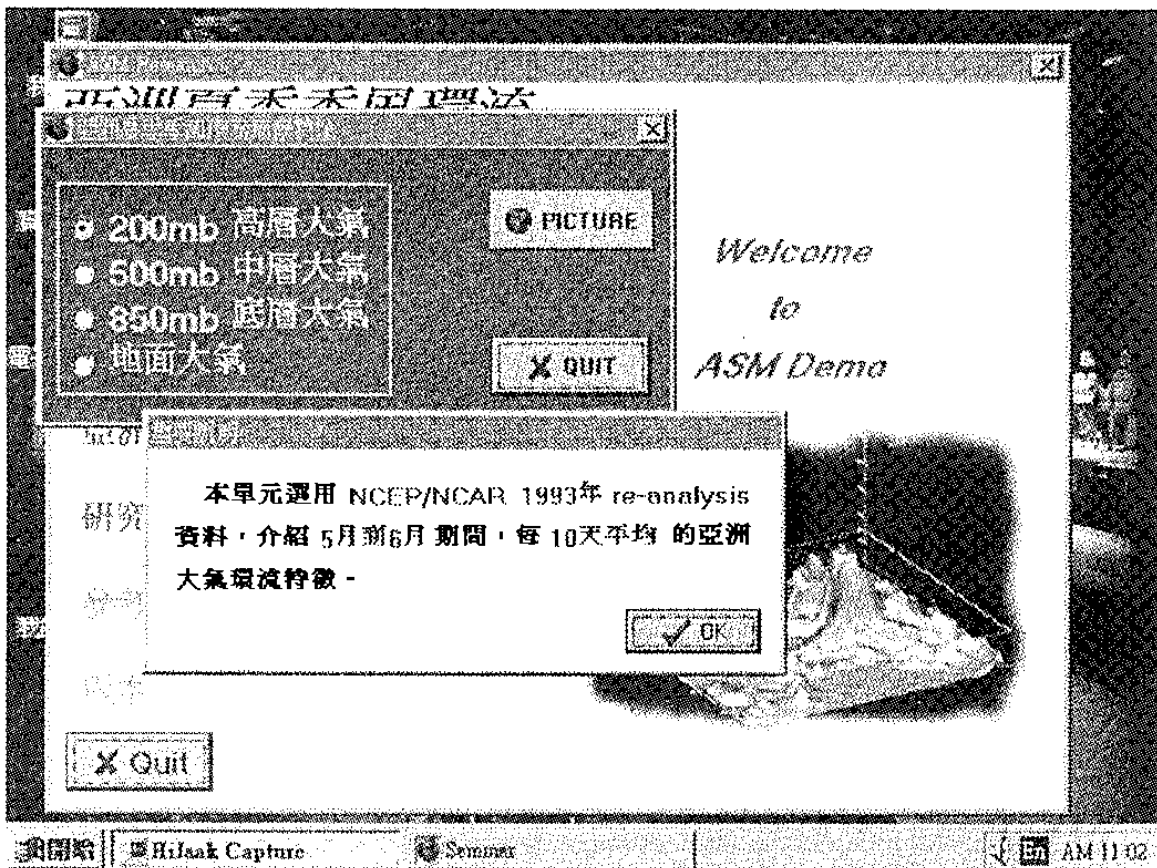
- Hibbard, W. and D. Santek, 1990：“Visualizing large data sets in the earth sciences”。*Visualization in Scientific Computing*，IEEE Computer Society Press，147-152。
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne and D. Joseph, 1996：“The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project”。*Bull. Ame. Meteor. Soc.*, 77, 437-471。
- Webster, P. J., 1986：“The elementary monsoon”。*Monsoon*，John Wiley & Sons publish，3-32。
- Wilhelmson, R. B., 1988：“Numerical simulation of severe storms”。*Proc. Fourth Int'l Symp. Sci. Engineering on Cray supercomputers*, Minneapolis, Minn., 329-345。



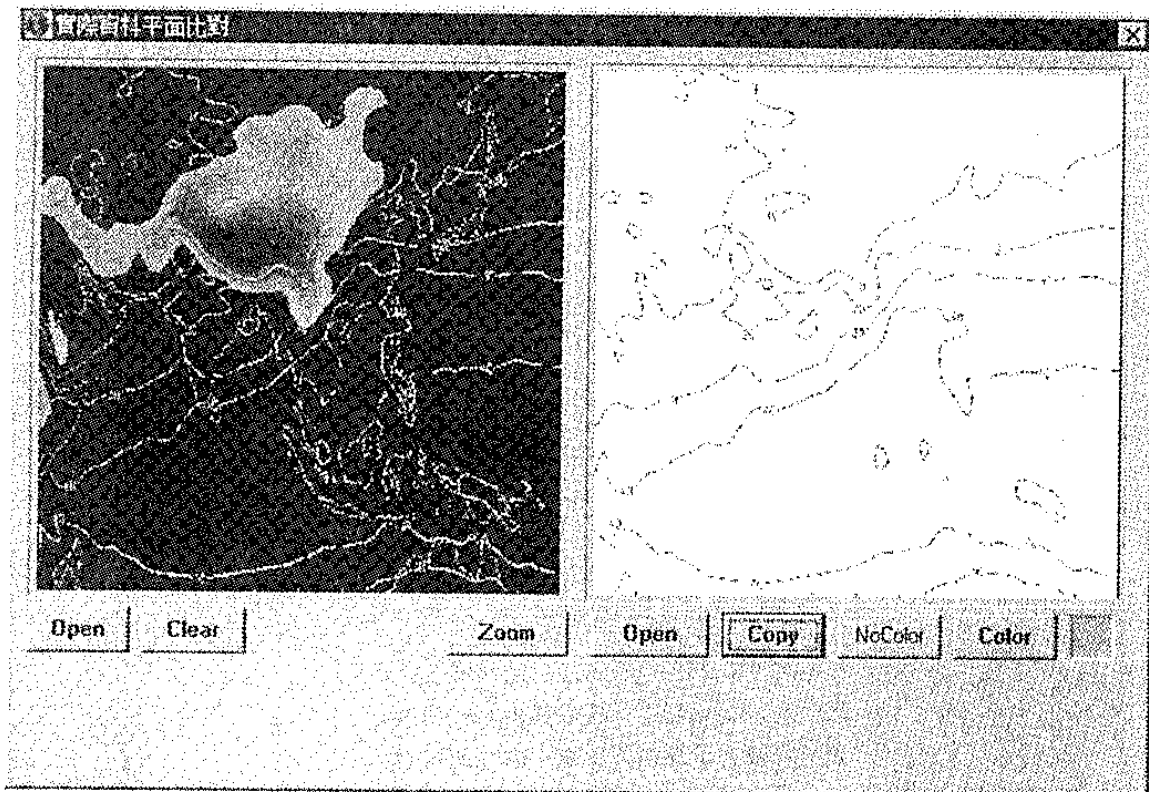
圖一：「亞洲夏季季風環流建立」電腦輔助教學軟體首頁畫面。



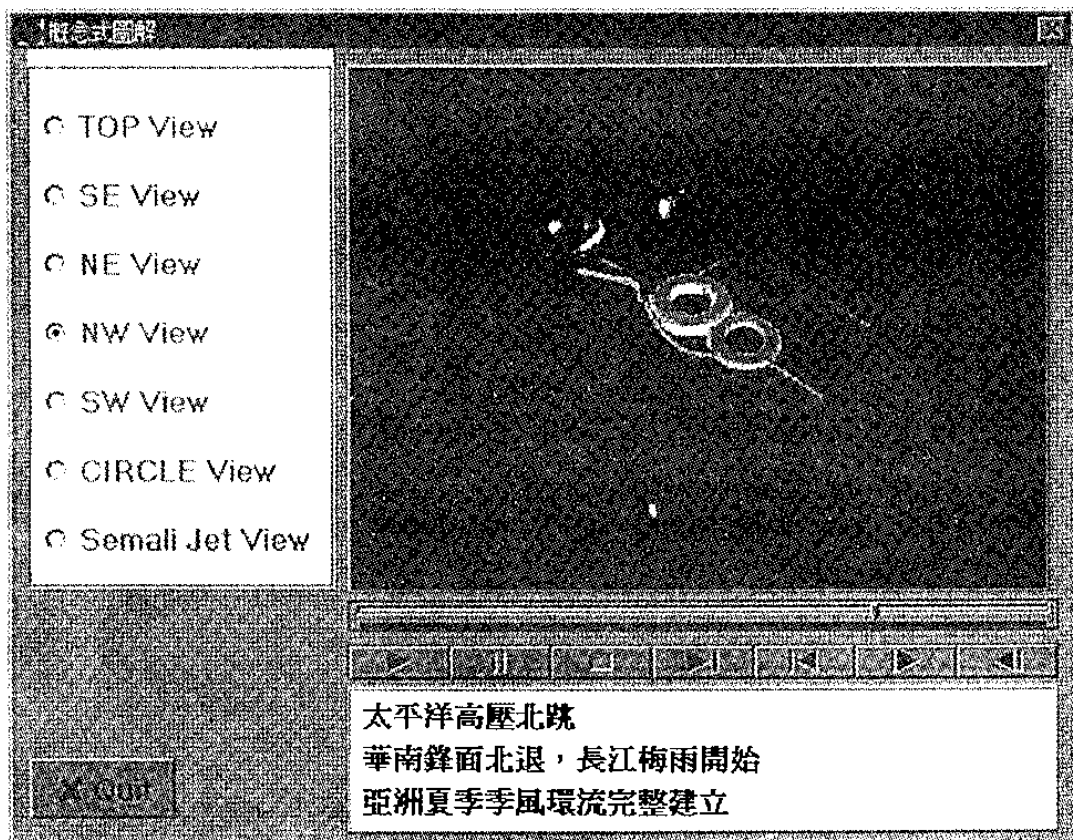
圖二：「亞洲夏季季風環流建立」電腦輔助教學軟體第一選單「背景知識」之下的「全球季風地區」內容(Webster, 1986)。



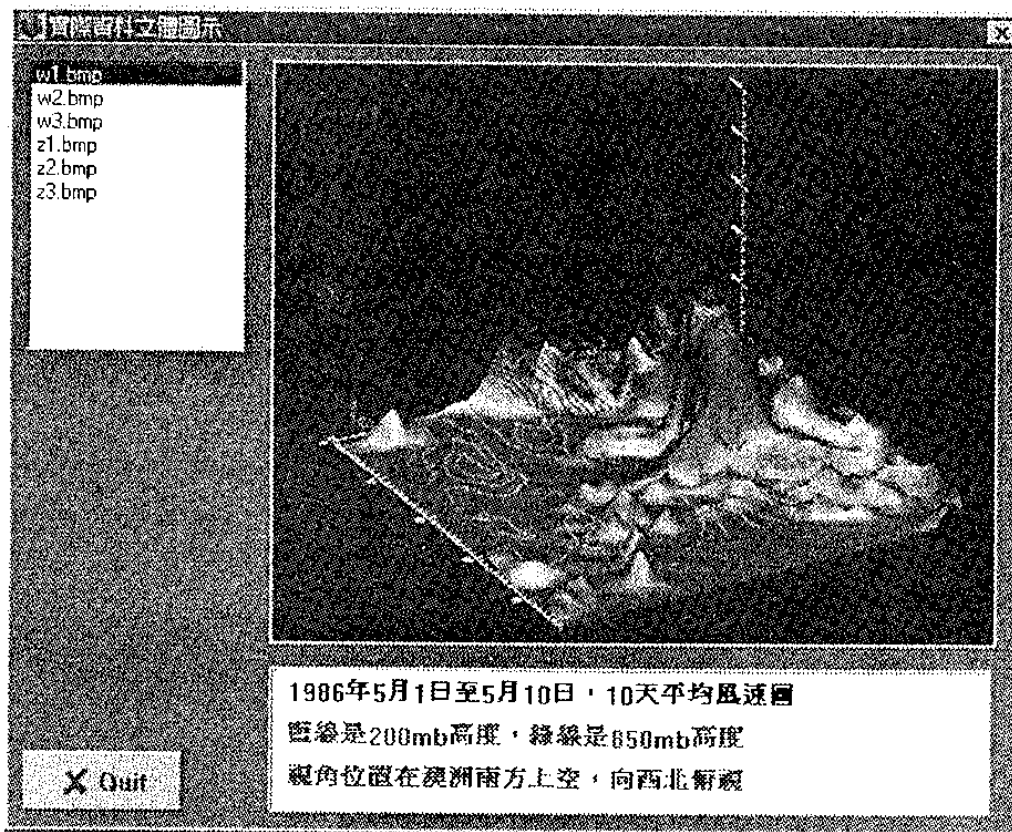
圖三: 「亞洲夏季季風環流建立」電腦輔助教學軟體第二選單「亞洲夏季季風環流氣候特徵」的內容。



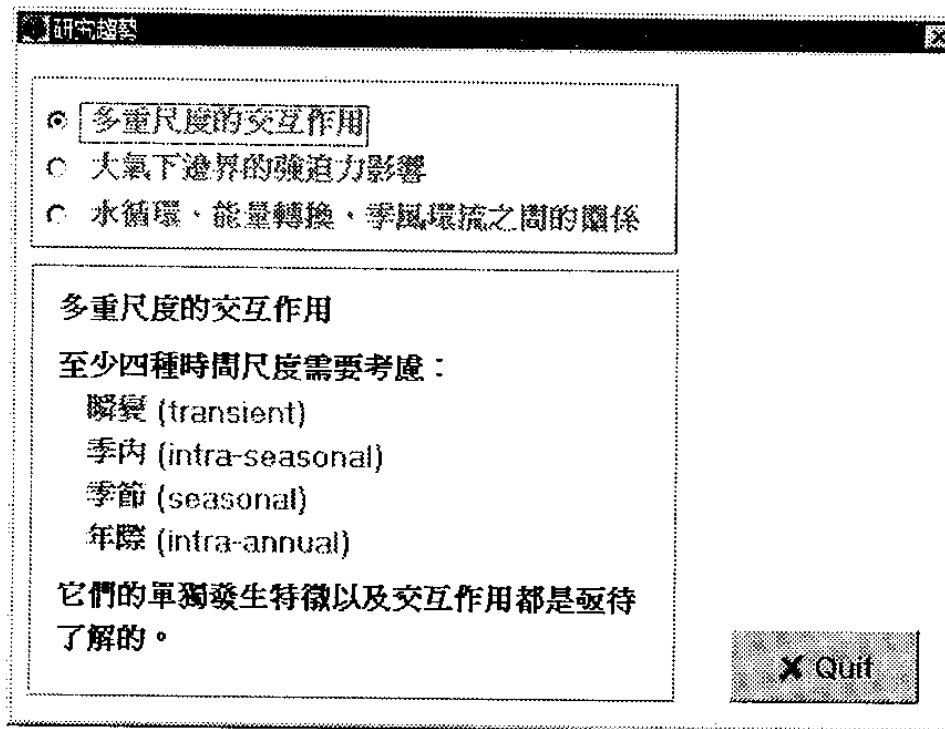
圖四: 「亞洲夏季季風環流建立」電腦輔助教學軟體第三選單「亞洲夏季季風環流立體動態」之下的「實際資料平面比對」內容。



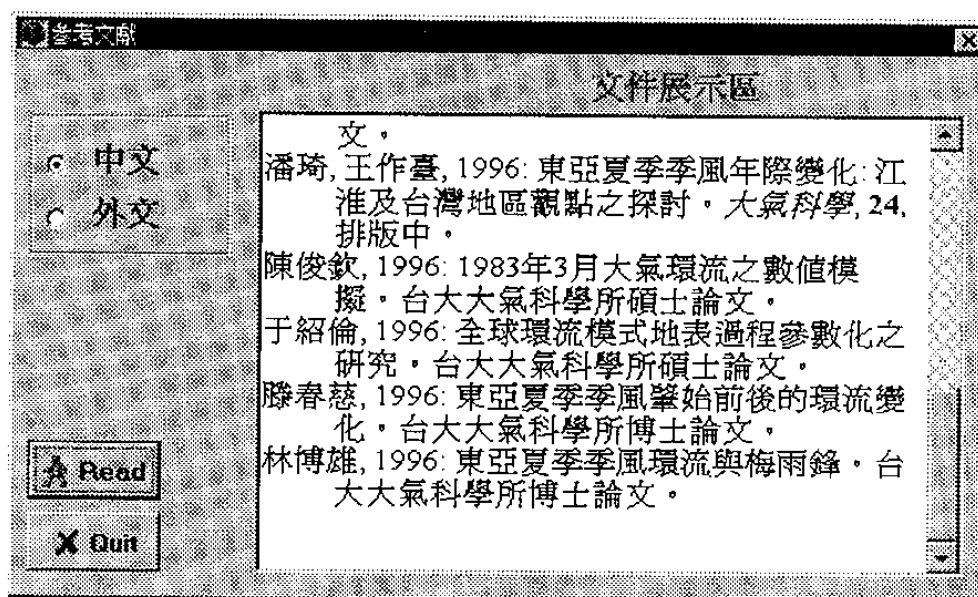
圖五：「亞洲夏季季風環流建立」電腦輔助教學軟體第三選單「亞洲夏季季風環流立體動態」之下的「概念式圖解」內容。



圖六：「亞洲夏季季風環流建立」電腦輔助教學軟體第三選單「亞洲夏季季風環流立體動態」之下的「實際資料立體展示」內容。



圖七：「亞洲夏季季風環流建立」電腦輔助教學軟體第四選單「研究趨勢」之下的「多重尺度的交互作用」內容。



圖八：「亞洲夏季季風環流建立」電腦輔助教學軟體第五選單「參考文獻」之下的「中文」內容。

The Application of Data Visualization in Meteorology : the Evolution of Asian Summer Monsoon Circulation

Po-Hsiung Lin Ying-Hao Chen

Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

Jan-Feng Chang

College of Medicine, National Taiwan University

Abstract

The analysis and diagnose of meteorological data which changes with high time-spatial dimensional evolution is always slid into two dimensional plane for visualization. According to the advanced technique of high speed calculation, display and data processing software in computer science, the theorem and applications of science visualization have grown recently. The famous representation of weather data visualization in Taiwan is the WINS of Central Weather Bureau. But the main function of WINS is the real-time data processing and integration in 2-D frame. This study demonstrated one visualization sample of Asian summer monsoon circulation which was executed by a self-designed window-interface and several commercial softwares. Meteorological data came from NCEP/NCAR reanalysis dataset and ECMWF/TOGA basic dataset. Delphi window-manage language was used to setup the friendly man-computer interface for displaying documents and graphics. Users feedback to this study has also been discussed by statistics. It showed that the picture of Asian summer monsoon evolution could be explained more clearly in visualization and multi-media computer tool. This application of visualization methodology might give contribution to meteorological education and training programs.