

赴琉球參與台灣地區中尺度實驗(TAMEX)之 WP-3D飛機空中觀測報告

葉文欽

壹：緣起

台灣地區因所處緯度的關係，在這種相當特殊的大氣環流及地理條件下，幾乎每年均遭受程度不同的氣象災害。有鑑於豪雨發生之頻繁及導致災變之嚴重性，國內氣象界在國科會大力支援下，而有「劇烈區域豪雨觀測與分析實驗計畫」之研議。由於這種豪雨的劇烈天氣現象是由中尺度系統所導致，氣象界正缺乏了解，故對其預報能力非常有限，目前世界各國氣象學者之研究重點也已轉向中尺度系統之瞭解。

在美國經過可行性研究之後，已規劃完成「全國風暴計畫」(簡稱STORM Program)，將於1983~1995分三個階段展開。由於台灣地區的豪雨正是由中尺度天氣系統所引發，除了我們自己重視外，以「台灣地區中尺度實驗」(Taiwan Area Mesoscale Experiment: TAMEX)為名之研究方案也在美國科學界引起高度的興趣，來自NCAR、NOAA、NASA……及各大學之氣象科學家及教授們，紛紛加入研究的陣容，使得中—美合作之大型國際研究計畫得以順利展開，屆時美方的科學家、技術人員、儀器設備……等，也加入以台灣為中心500km×500km之範圍內，進行整體性的密集觀測。當今年(1987)5~6月份之實驗完成後所獲得之完整資料，對我國氣象科學之基礎研究、豪雨預報改進之實質效益及建立國際形象等方面均會有很大的幫助。

美方這次參與之科學家其國際合作計畫也是在國家科學基金會(N.S.F.)及各研究機構經費支援下才得以成行，而飛機的支援不是小型的T-28、King Air或Electra……等，而是隸屬美國商務部(DOC)之國家海洋大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration

: NOAA)所有，目前國際間研究裝備最齊全之WP-3D氣象飛機，千里迢迢地由美國佛羅里達州邁阿密基地飛來遠東參與這次的TAMEX觀測。國科會有見於學習之機會難得，特邀請台灣大學、中央大學、中央氣象局、民航局及空軍派員赴琉球參與實際作業，並補助所有經費(76臺會企字第04584號)，全部成員共12位分四梯次出發。作者與宋德芳代表本軍參與，經國防部以(76)基培字第1609號核准，總部復以(76)賦秩第3742號令核准成行。

5月12日上午作者與台大周仲島教授(總領隊)和中央氣象局張修武課長搭乘華航CI-826班機赴琉球，進駐美軍Kadena A.F.B.附近之沖繩市京都旅館，當天下午即與美方負責此次觀測任務之首席科學家David P. Jorgensen博士取得聯繫，往後在他的安排下，順利進入基地完成三次密集觀測任務。5月22日作者與張修武先行搭乘華航CI-825班機返國，25日並在中央氣象局參加三次IOP後之檢討會，順利完成第一梯次的觀測學習任務。

貳：WP-3D氣象飛機簡介

一、前言

這次參加民國76年(1987)5~6月份TAMEX計畫的主要裝備計有(1)研究飛機1架；(2)都卜勒雷達3座；(3)VHF測風雷達1座；(4)傳統雷達5座；(5)研究船3艘；(6)測風站10站；(7)探空站11站；(8)小型探空站1站；(9)地面測站75站；(10)雨量站121站；(11)測風塔21站。

其中以NOAA之研究觀測機(WP-3D)最具特色，其熱烈的參與感代表美國氣象界各學術研究機構對我國主辦大型國際合作實驗計畫之重視及能力的肯定。因WP-3D是研究用飛機，故其航向、

飛行高度、滯空方式異於一般飛機，則牽涉我航、戰管即非常繁雜，由於均能順利解決，故這次的空中觀測任務就第一梯次而言相當成功，所有任務完成後所獲得之資料對這次TAMEX而言真是無價之寶，因為這些資料將開闢我國氣象研究事業的新領域。

二、飛機的性能

P-3 是美國洛克希德 (Lockheed) 飛機製造公司所生產性能最佳之反潛機，目前為美國海軍及部份盟國所使用。美國國家海洋大氣總署 (NOAA) 之環境研究實驗室 (ERL) 之研究儀器中心 (RFC) 特別在 1975 年 6 月及 1976 年 2 月訂購二架 (編號 N42RF 和 N43RF)，為四個渦輪螺旋槳引擎之飛機。由於該機之特殊性能及研究裝備能對大氣、海洋及氣海交互作用之研究，可在時、空分布上進行詳細的觀測其各種物理參數。這次前來我國之 WP-3D 是編號為 N42RF 的飛機，當她在我國領空出現時代號為 TAMEX-42，其外型如圖 1 所示。

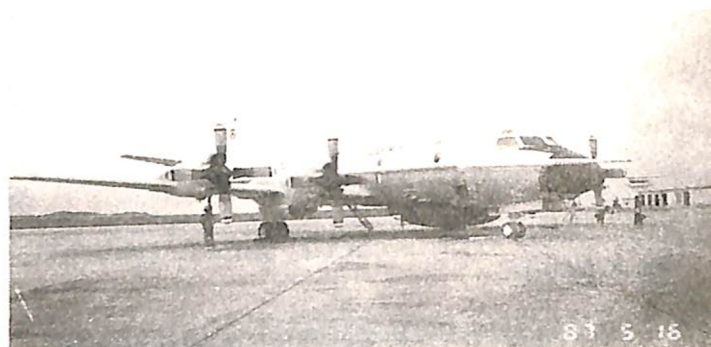
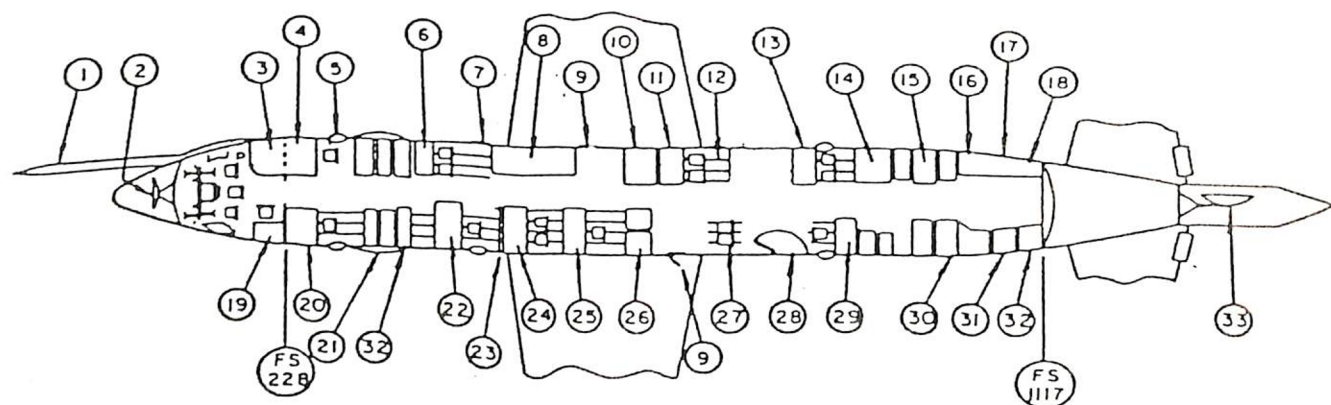


圖 1：參加 TAMEX 計畫之 WP-3D 研究飛機全貌。

有關這型飛機之重要性能計有：(1)機身長 111 呎 2 吋；(2)翼展為 99 呎 7 吋；(3)引擎使用 T-56-A-14；(4)最大載油量為 57,000 磅；(5)最大起飛重量是 135,000 磅；(6)使用跑道長度為 8500 呎；(7)起飛馬力為 4,600 hp/engine；(8)操作有效高度由近海平面~30,000 呎；(9)最大空速是 400 哩/時 (10)巡航 (真) 空速為 325 哩/時 (11)亂流空速為 220 哩/時 (12)續航力在 500 呎高為 8.5 小時，10,000 呎高為 9.5 小時，20,000 呎高則為



- | | | |
|------------------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Gust probe | 13. Scientific consoles | 24. Radar console |
| 2. C-Band radar | 14. Lavatory | 25. Tape & disk recorders |
| 3. Fwd elec load center | 15. Dinette | 26. Computer/data system |
| 4. Nav/comm station | 16. Overhead bunks (2, fold up) | 27. Passenger seats |
| 5. Bubble window (5 places) | 17. Electronic technician work area & storage space | 28. Entry door |
| 6. Gust probe station | 18. Radar recorder | 29. Camera control/scientific console |
| 7. Window (6 places) | 19. Mission scientist station | 30. Galley & galley seats (2) |
| 8. Main elec load center | 20. Flight director station | 31. Radar data recording |
| 9. Emergency exits (2) | 21. C-Band radar | 32. Radar R/T units |
| 10. Nav system | 22. Cloud physics station | 33. X-Band radar |
| 11. Dropsonde & AXBT console | 23. Analog panel | |
| 12. Floor tracks (typical) | | |

圖 2：WP-3D 飛機內部裝載分布圖。(摘自 C.B. Emmanuel, 1983)

10.7 小時；(13)最大航程在 500 呎高時為 2,250 哩，20,000 呎高時為 3,300 哩，階狀爬升時可達 3,600 哩。

三、飛機內部的裝載

有關飛機內部之儀器裝載配置如圖 2 之分布所示：

這些機座分布僅顯示飛機內部之飛航及氣象裝備的操作台，今以照片配合略述如下：

(1)圖 3 是領航操作台即分布圖中之 (4) Nav/Comm Station，這架 WP-3D 之所以能夠每次順利完成艱鉅的氣象科學觀測實驗任務，就是因為擁有最佳的導航裝備，是全機的心臟，使得飛機定位及相對推算出來的氣象參數值達到最精確，對將來各種磁帶資料之處理提供方位、高度、航向、航速…等必要的參考座標。這組導航系統包括二套 Inertial Navigation Systems，一套 Omega Navigation System 及一套 Doppler Radar System，而他們所共同訂出之飛機最佳在空座標均錄存於磁帶中，且飛機航向、方位…等也均隨時顯示於每位作業人員之操作台的指示器 (Display) 上。

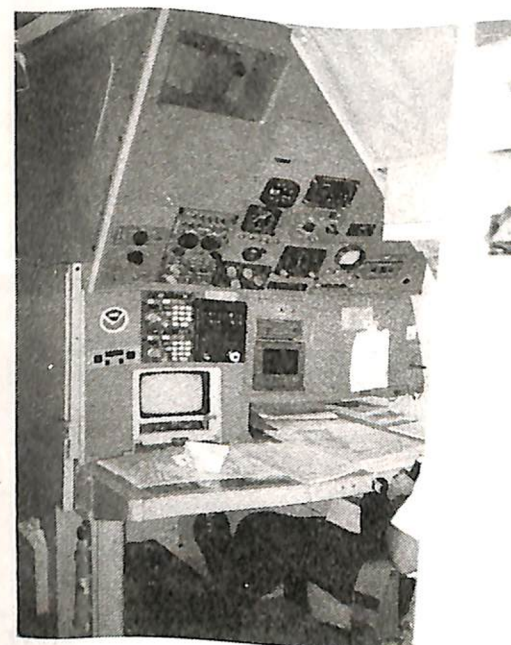


圖 3：WP-3D 飛機內部領航操作台。

(2)圖 4 是飛行指揮操作台即分布圖中之 (20) Flight Director Station，其任務在溝通首席科學家與飛行員，以達成氣象科學觀測任務及飛航安全的要求。



圖 4：WP-3D 飛機內部飛行指揮操作台。

(3)圖 5 為都卜勒雷達風場操作台，其位置在分布圖中之 (6) Gust Probe Station，風場資料來自機尾之 X-Band 雷達。

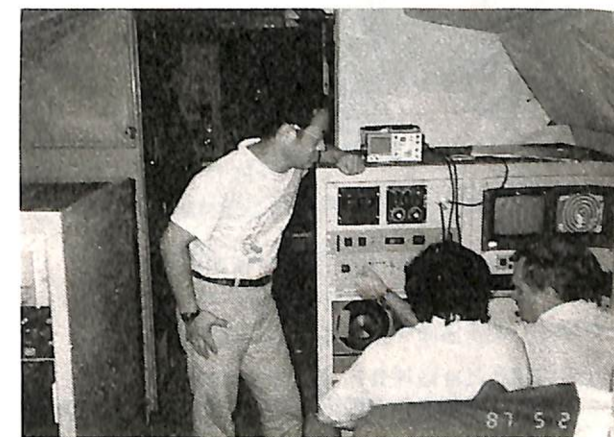


圖 5：Watson 正向周仲島等解說如何操作都卜勒雷達磁帶錄音座。

(4)圖 6 為雲物理操作台即分布圖中之 (22) Cloud Physics Station，有關雲物理之偵測感應器則位於機翼下端如圖 7 所示。



圖 6：飛機內雲物理操作台，磁帶錄音座有双套，操作者為中央氣象局張修武先生。

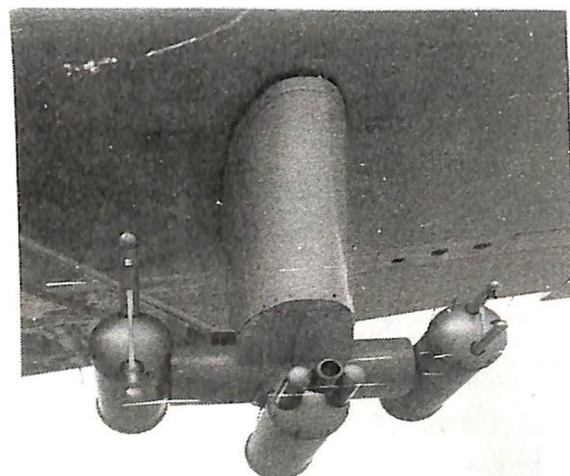


圖 7：位於機翼下端之雲物理偵測感應器。
(周仲島提供)

(5)圖 8 為雷達操作台即分布圖中之⑭ Radar Console，所操作的是機身下（見圖 1）C-Band 雷達之平面回波，其半徑為 200 哩及圖 9 之機尾 X-Band 雷達之垂直向回波，其半徑為 50 哩。這組雷達操作台之錄音座是如圖 10 位於機艙後段即分布圖之⑮ Radar Recorders 的位置上。

圖 10：機艙後部雷達磁帶錄音座，為双套並排，桌面上為飛航及氣象觀測資料同步列表機。



圖 8：飛機內雷達操作台，站立者為作者。
(張修武提供)

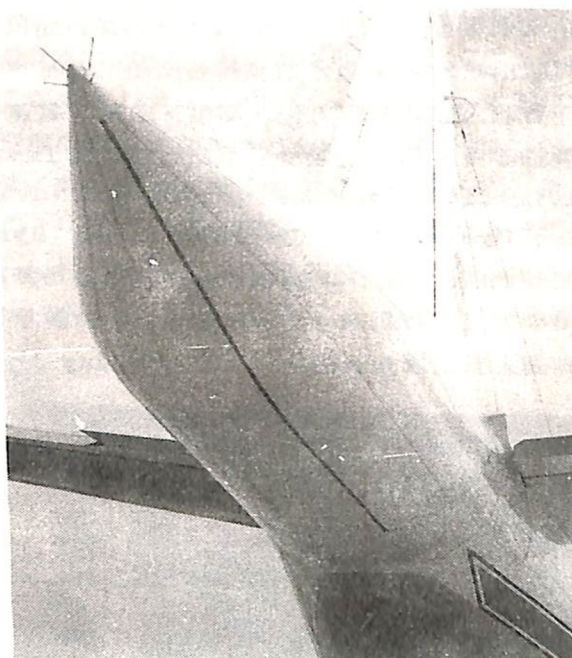
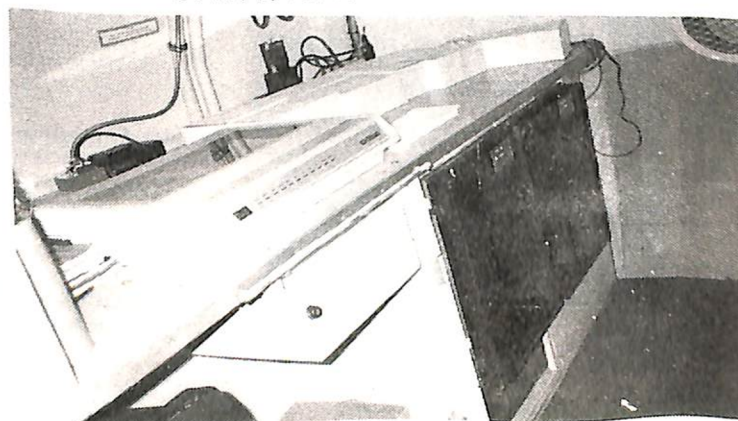


圖 9：WF-3D 尾端 X-Band 都卜勒雷達天線罩。
(周仲島提供)



(6)圖 11 為電腦資料操作台即分布圖中之⑯ Computer/Data System，負責全機每隔 10 秒所計算出之飛航及氣象觀測資料，其錄音座位於其前方在雷達操作台之後方即分布圖⑮之位置上，而其同步列表機則位於圖 10 之桌面上。

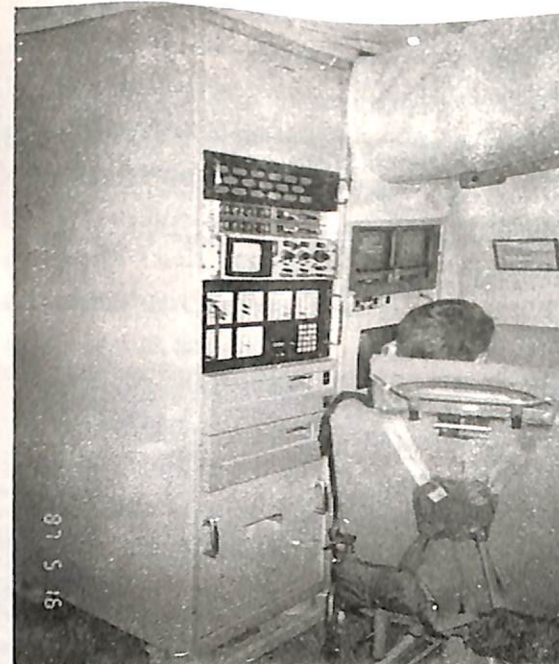


圖 11：WF-3D 機內處理飛航及氣象資料之電腦系統操作台。

(7)圖 12 為投落送施放操作台即位於分布圖上之⑰ Dropsonde & AXBT Console 及⑱ Floor Track，施放地點一般在飛行計劃中已決定，高度約從 500mb 開始，除每隔 10 秒可錄得資料外並同步列出資料供首席任務科學家參考。



圖 12：WF-3D 機內施放投落送之操作台，跪立者為 OAO 的工作人員。

(8)圖 13 為首席任務科學家操作台即分布圖中之⑲ Scientific Console，其台面在中間是飛航氣象資料指示器，兩側則為機鼻 C-Band 雷達回波顯示器及投落送資料列表機。首席科學家 (Chief Scientist) 在任務時除了與台北作業指揮中心 (OCC) 隨時連絡決定飛行路徑觀測目標外，並掌理每次機上重要現象之紀錄及其他任務科學的觀測事宜，同時負責處理全部觀測結果之磁帶記錄整理等工作。



圖 13：首席任務科學家操作台，圖為這次 TAMEX 之美國 NOAA 的 Dr. David P. Jorgensen 和我國領隊周仲島教授。

四飛機觀測之資料

所有儀器的感應器外載於機身外，直接與大氣相接觸或發射電磁波，其所獲得之資料經處理運算後，最後錄成五種不同的磁帶，包括：

(1)所有飛航及氣象因子每 10 秒記錄一次之資料共有 21 項之多，除了每一航次有一卷磁帶外，並將所獲資料同步列表乙份，所有資料則包括飛機起動至降落機場為止。

(2)雲物理回波之磁帶，一共可錄六種不同感應器的資料，每卷磁帶僅需 5 分鐘即錄製完畢。

(3)雷達影像回波資料之磁帶，可錄機身下之平面回波 (PPI) 及機尾之垂直向回波 (RHI)，磁帶時間約 25 分鐘。

(4)都卜勒雷達之風場回波，磁帶時間約 18 分鐘。

(5)投落送探空卡式磁帶，最多可同時追蹤三個 Dropwinsonde，每次探空一個卡帶，並有同步列表出之資料，可供任務科學家立即著手初步分析。

表一：WP-3D 飛機所裝載的儀器及觀測感應的資料。(摘自 C.B. Emmanuel, 1983)

Meteorological Sensors

- o Temperature
- o Pressure
- o Dewpoint
- o Winds
- o Vertical wind (High resolution angle of attack, pitch angle, vertical acceleration)
- o Omegasonde

Cloud Physics

- o Cloud droplet spectrum
- o Hydrometeor size spectrum
- o Hydrometeor size spectrum (Foil Impactor)
- o Small droplet spectrum
- o Cloud liquid water
- o Total water content
- o Total liquid water content (Nimbiometer)
- o Ice-water discriminator
- o Cloud particle replicator (Formvar)
- o Cloud condensation nuclei
- o Bulk water sampling system
- o Ice particle counter

WP-3D AIRCRAFT INSTRUMENTATION

Nuclei

- o Total dust
- o Ice nuclei
- o Condensation nuclei
- o Millipore filter system

Radiation

- o Sea surface temperature
- o CO₂ air temperature
- o Microwave radiometer

Radar

- o C-band PPI lower fuselage, 360° scan (horizontal) fan beam
- o C-band PPI nose, 240° scan, conical
- o X-band RHI, 360° scan, vertical

Miscellaneous

- o Gust probe (hot film and vane systems)
- o AXBT (external, internal)
- o Flare seeding system
- o Photography (16 mm; forward, side, vertical)
- o Laser altimeter
- o Radar altimeter

整架飛機所裝載能觀測之各種資料如表一所示，可見 WP-3D 這架移動之科學觀測站驚人的工作能力。

以上各種磁帶均由任務科學家攜回，做為每次中尺度實驗之飛機觀測相互配合研究之主要依據。為了瞭解所錄磁帶之品質及內容，NOAA 的任務科學家並在 Kadena A.F.B. 之臨時辦公室架設處理磁帶之電腦系統，可以初步分析並由彩色螢幕顯現出，也可以由列表機打印出觀測到的內容，圖 14 即美方所安裝處理磁帶的系統。

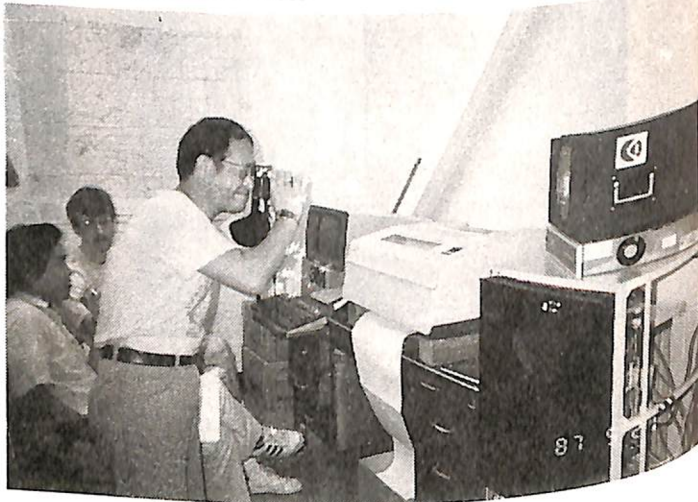


圖 14：配合 TAMEX 計畫美方架設在 Kadena A.F.B. 之處理觀測磁帶的電腦系統。

表二：WF-3D 飛機所裝載之三座雷達之特性表。(摘自 F.J. Merceret 和 H.W. Davis, 1981)

	NOSE RADAR	LOWER FUSELAGE RADAR	TAIL RADAR
Transmitter Frequency	5445 + 6.6 MHz	5370 + 6.7 MHz	9315 + 11.6 MHz
Transmitter Pulse Length	3.0 μsec	6.0 μsec	0.5 μsec
PRF	400 pps	200 pps	1600 pps
Power Output	70 KW (Min)	70 KW	60 KW
Power Amplifier	Magnetron	Magnetron	Magnetron
Receiver Curve	Logarithmic	Logarithmic	Logarithmic
Receiver Dynamic Range	80 dB	80 dB	80 dB
Noise Figure	6 dB	6 dB	6 dB
Receiver B. W.	425 KHz	233 KHz	2 MHz
Intermediate Frequency	30 MHz	30 MHz	30 MHz
Antenna Polarization	Linear, Horizontal	Linear, Horizontal	Linear, Vertical
Gain, Main Beam	34 dB	37 dB	40 dB
Beam Width	Az., El., 3.6°	Horiz. 1.1° Vertical 4.1°	Horiz. 1.35° Vertical 1.9°
Sidelobe Gain	23 dB down	23 dB down	23 dB down
Azimuth Coverage	Variable to ±220°	360°	±50°
Elevation Coverage	40°	20°	360°
Antenna Stabilization	Pitch & Roll	Pitch & Roll	Grd. Trk. & Pitch

五飛機的雷達

WP-3D 觀測機最大的特色無疑是一架移動的氣象雷達站，她可以主動追蹤天氣系統，並對該系統進行詳細徹底的探索，以瞭解其內部結構及環境條件，WP-3D 在機鼻，機身前段下方及機尾各有一座雷達，其特性如表二所示。

機鼻 (Nose Radar) 是 C-Band 的搜索雷達，可以告訴飛行員及首席科學家飛機前方的天氣系統或地形回波，可決定飛行及觀測路線。機身下 (Lower Fuselage Radar) 也是 C-Band 的雷達，可以觀測水平方向的天氣系統回波有 PPI 的功能。機尾 (Tail Radar) 則為 X-Band 的雷達，可以測得垂直向的回波有 RHI 的功能，同時還可獲得大氣中風場的資料。

六 WP-3D 的光榮歷史

這次國科會所推動之 TAMEX 計畫，僅是美國 NOAA 之 WP-3D 飛機所支援參與的一次任務，過去 12 年來 WP-3D 在美國本土及國際間已進行了很多研究計畫，其中比較有名的如歐洲阿爾卑斯山背風旋生實驗 (ALPEX)、亞洲區域之冬夏季風實驗 (MONEX)、赤道太平洋氣候研究 (EPOCS)、邊際冰帶實驗 (MIZEX)、聯合機場天氣研究 (JAWS)、區域性中部風暴初步實驗 (PRE-STORM)、大西洋旋生實驗 (GALE) ... 等。由於 WP-3D 之駐地在邁阿密，大西洋區域之颶風 (Hurricane) 之追蹤、觀測與研究成為她最主要的任務，截至參加 TAMEX 計畫為止，編號為 N42RF 之 WP-3D 飛機已偵測過 33 個颶風，成果非凡。

參：三次密集觀測 (IOP) 之飛行任務簡述

這次隨同 WP-3D 前來單就 NOAA 之飛機作業辦公室 (OAO) 包括計劃經理 Dr. James D. McFadden、機長 Mr. David L. Turner ... 等在內之空地勤人員即有 17 位之多，每次飛行任務的需要可搭乘 13~17 位工作人員。任務科學家由 NOAA 之環境研究實驗室 (ERL) 負責，首席科學家 Dr. David P. Jorgensen，他負責全盤的科學觀測任務，其他美方的任務科學家有 Andrew I. Watson 和 Grant Petty (華盛頓

大學博士班學生)，我國第一梯次則有周仲島 (台大)、張修武 (中央氣象局) 和葉文欽 (空軍)，往後將另有三梯次人員參與。

在 TAMEX 執行期間座落於中央氣象局之作業指揮中心 (OCC)，每天就天氣系統進行討論，確定有密集觀測後，會擬定飛行的航線通知有關單位及在琉球之任務科學家，有關觀測飛行之型態已歸納為四大類如表三所示。

表三：TAMEX 計畫所歸劃之飛行路徑的天氣型態表。(摘自 TAMEX Operations Plan)

- 1 Meso-a Scale Environmental Patterns
 - 1A Near Taiwan
 - 1B Around the Mei-Yu Front
- 2 Mei-Yu Front Patterns
 - 2A Undisturbed Front Over Open Ocean
 - 2A1 Structure and Low-Level Jet
 - 2A2 Fine Scale Mei-Yu Front Structure
 - 2B Undisturbed Front Near Taiwan
 - 2C Disturbed Front Over Open Ocean
 - 2C1 Extensive Convection
 - 2C2 Embedded MCSs
 - 2D Disturbed Front Near Taiwan
- 3 Topographic Patterns
 - 3A Undisturbed Conditions
 - 3A1 Upstream Flow
 - 3A2 Upstream and Downstream Flow
 - 3A3 Flow Across Mountains
 - 3A4 Mesoscale
 - 3B Disturbed Conditions
- 4 MCS Patterns
 - 4A Open Ocean
 - 4A1 Initial Survey and Environmental Conditions
 - 4A2 Convective Structure and Kinematics
 - 4A3 Convective Cell Penetrations
 - 4A4 Momentum Flux and Cloud Physics
 - 4B Near Taiwan
 - 4B1 Near Dual-Doppler Radars
 - 4B2 Away from Dual-Doppler Radars
 - 4B3 MCS over Taiwan

任務開始全體工作人員進入 WP-3D，飛機升空前機長對新進人員都會有面對面的安全事項簡報，飛機升空後首席任務科學家會經常不斷地與台北 OCC 以無線電直接通話，就真實的天氣現象或發生之地理位置協商改變航線，以找尋具體的觀測目標。因此在每一次的 IOP，機上之 Chief Scientist 扮演非常重要的角色，其負責協調之功能如圖 15 所示。

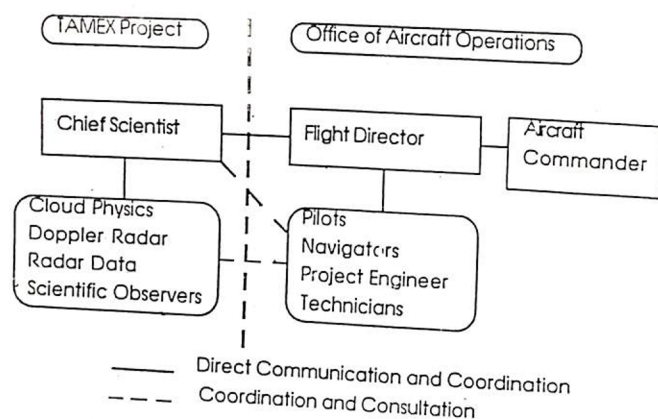


圖15: TAMEX計畫空中飛行任務作業人員工作協調處理狀況圖。(摘自TAMEX Operational Plan)

今將第一梯次所參與之密集觀測(IOP)經過簡述如下:

第一次IOP(13日1400L~14日0800L)

圖16為5月13日0000Z地面圖顯示,組織完整之梅雨鋒由東海延伸至廣西,太平洋高壓東退,而河北省有高壓向東南方移動中。圖17之衛星圖是取13日1200Z為例,有伴隨組織完整之雲系。圖18為14日0000Z之天氣圖,低壓中心已移到日本西南方近海,鋒面過境本省。

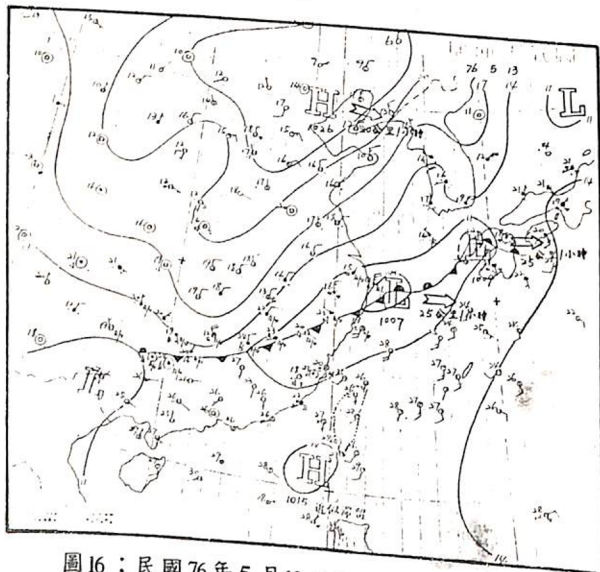


圖16: 民國76年5月13日0000Z地面天氣圖。

第一次IOP由13日0600Z~14日0000Z共計18小時。13日1100Z在琉球之我方人員已進入基地待命,原本預計1400Z(當地2300L)起飛,

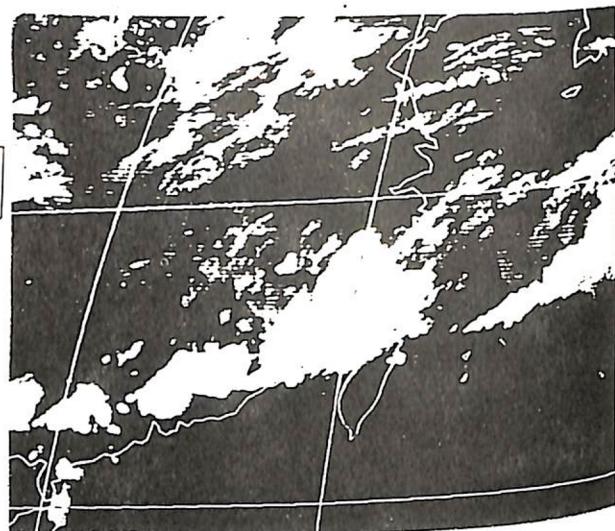


圖17: 民國76年5月13日1200Z GMS衛星雲圖。

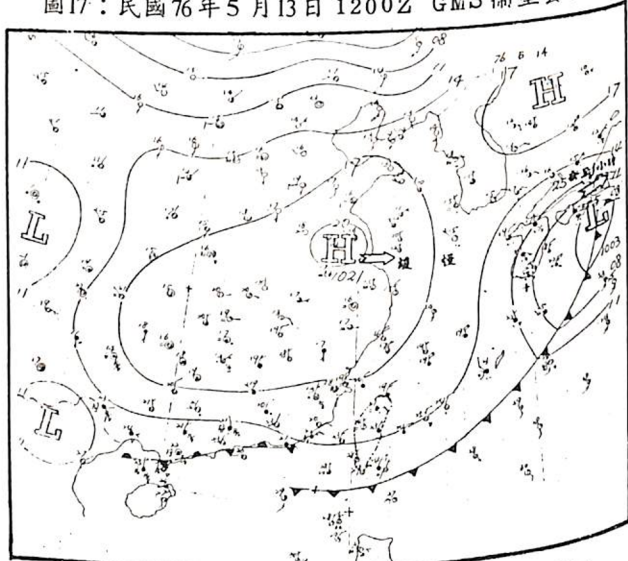


圖18: 民國76年5月14日0000Z地面天氣圖。

追蹤鋒面過境本省在山脈東、西兩側之結構,但由於當地雷雨交加飛機無法加油,大家在機棚等待至1730Z(琉球14日清晨0230L)始進入WP-3D內,工作大致分配如下:由周仲島隨Jorgensen見學首席科學家的任務,張修武負責雲物理、葉文欽負責機身下及機尾雷達、美方之Watson和Perry則負責Doppler雷達之操作和換磁帶工作。實際各記錄機座之開機之任務已由OAO之系統工程師處理好,任務科學家則依首席科學家的協調負責磁帶的收錄、記錄及換磁帶。有關Dropwindsor的施放則由OAO的操作人員負責,施放地點及個數均在飛行路線之研擬時已設定,另外有關飛航及氣象隨時空的變化,其每十秒有一次磁帶記錄也由OAO的人員負責。

第一次IOP因起飛比實際延誤3個半小時,故飛機進入海峽後一直追蹤到台灣海峽南部才捕捉到鋒面系統,並對它進行多次上下鋸齒狀之飛行,下衝可低於150呎,上升接近10,000呎,以了解鋒面之垂直結構,在此時我們進行了各種儀器觀測資料的收錄工作。飛機橫越中央山脈後,在東部外海也上下飛行以求比較。

這次飛行於台灣上空天已亮,返回琉球是當地上午9點,總共使用6.5小時,圖19即為IOP#1的飛行軌跡。由於這次我方任務科學家均上機匆匆,有很多事情尚未進入情況有待了解,加上這次鋒面過境南下到本省天氣現象很明顯的減弱,因此所錄磁帶不多即關機,投落遂雖放了三個但其濕度場和風場則有問題。這次可說是一次實習的飛行,而飛機在穿越中央山脈時,天空轉亮,故可觀測到雲層在山脈兩側的變化,實在也是一次難得的收穫。

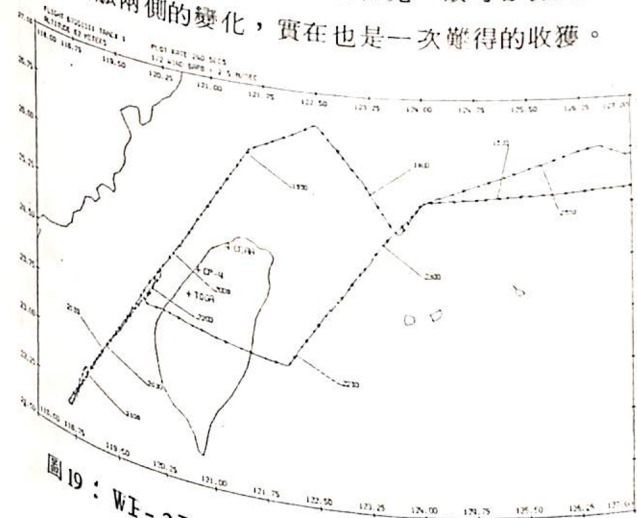


圖19: WI-3D飛機第一次IOP之飛行軌跡圖。

有了IOP#1之後我方任務科學家瞭解到,我們不可能提前進入飛機以了解其裝備,故對WP-3D的觀測功能及操作方面問題尚多,除了互相提出心得外並決定如何在IOP#2時能詢問收集各種必要的資料,以利我方未來新進人員可以立即進入狀況,順利完成此行的科學觀測學習任務。

第二次IOP(16日1400L~17日1100L)圖20為5月16日0000Z地面天氣圖,華南有低壓波發展中,華北另有一道鋒面,高壓中心位於甘肅省向東南移動。華南沿海到台灣海峽並有組織良好之雲系相配合如圖21所示,此一鋒面由圖22即

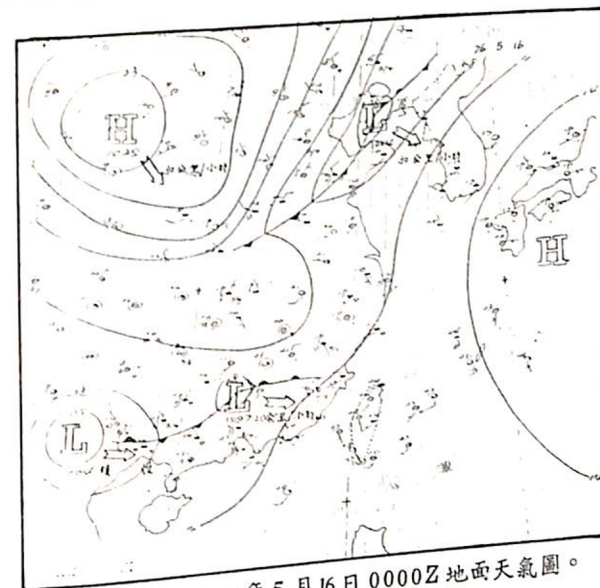


圖20: 民國76年5月16日0000Z地面天氣圖。

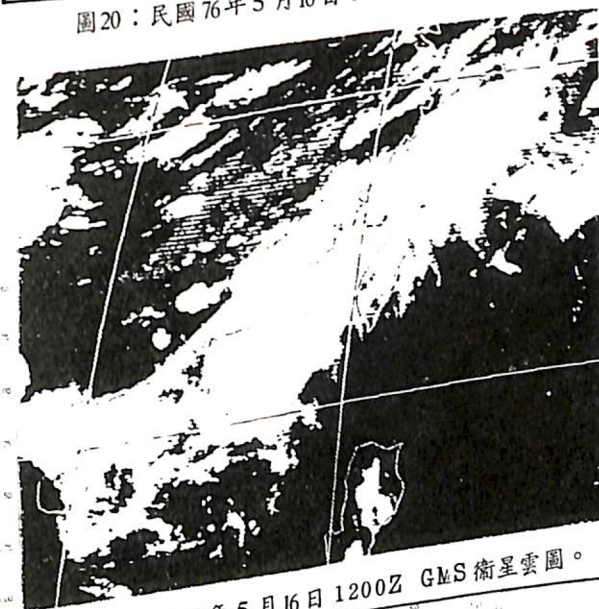


圖21: 民國76年5月16日1200Z GMS衛星雲圖。

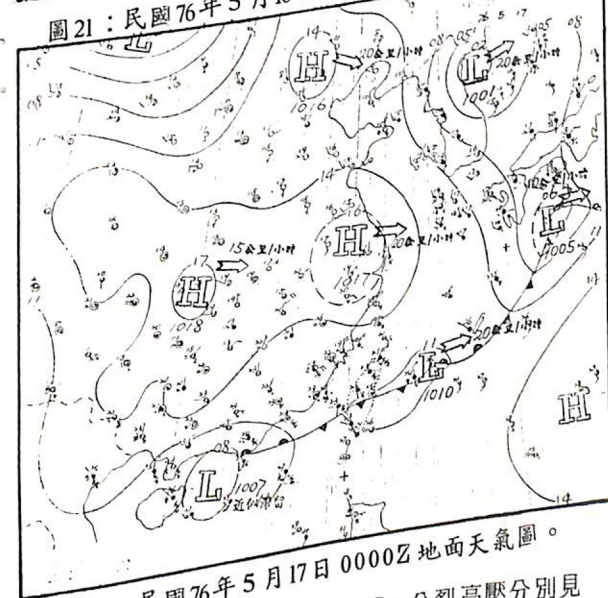


圖22: 民國76年5月17日0000Z地面天氣圖。則已移至台灣中部,分裂高壓分別見於四川省及長江口附近。

此次 IOP#2 由 16 日 1600Z ~ 17 日 0300Z 共歷時 21 小時。有了第一次經驗後，進入飛機內除了請教一些疑問並做了調整。由於雷達部份在開機觀測時，有必要隨回波的狀況選錄更有興趣及價值之回波，且機身下之雷達為避免地波的出現也必須調整傾角，特別是其磁帶機座與雲物理及 Doppler 雷達的不同，是獨立位於機艙尾部，必須來回換磁帶，故雷達改由二人操作，其餘維持一位。

WP-3D 在 16 日 1310Z (當地 2210L) 起飛，由於這次的雲系顯著，雷達在 1317Z 即開機進入工作狀態，一直到觀測完畢台灣北部外海之雷雨雲區後返航時，所有雷達 14 卷、雲物理 14 卷均錄畢，Doppler 也錄了 4 卷，投落送放了二個。這次的任務相當成功，其全程路徑如圖 23 所示，在台灣中部近海飛機曾平行穿越觀測 Squall line，同時可與 TOGA、CP-4 等 Doppler 雷達一起觀測，圖 24 即為 WP-3D 機身下雷達 PPI 回波圖。完成中部近海觀測後，飛機沿地形飛到台灣東南方近海追蹤中尺度低壓 (Meso low)，此時飛行高度下降維持 3000 呎，但天氣尚佳似乎沒有明顯低壓環流現象，但在花蓮東方海面則遇到雷雨雲區，其風場顯示有低壓環流存在。再向北穿飛位於台灣北部外海觀測到大片強烈的積雨雲之回波，強烈的上升運動使機長不時發出 Condition I 之強烈亂流警告，雖然頗為顛簸，但因大家全神關注著資料收錄，雖不太方便也不覺得很苦。

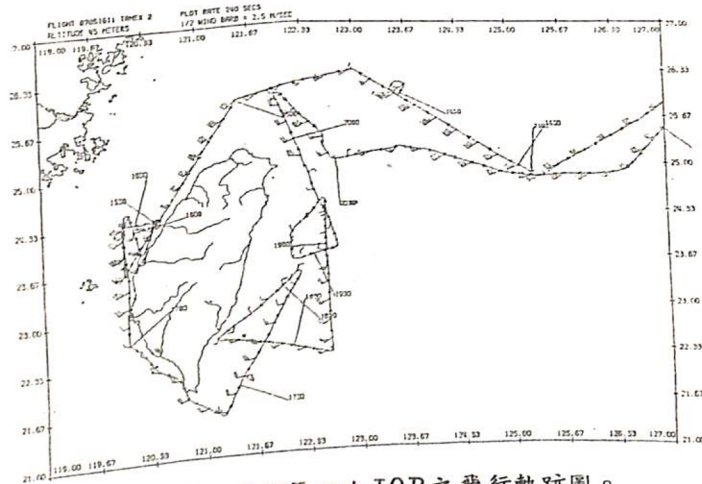


圖 23：WP-3D 飛機第二次 IOP 之飛行軌跡圖。

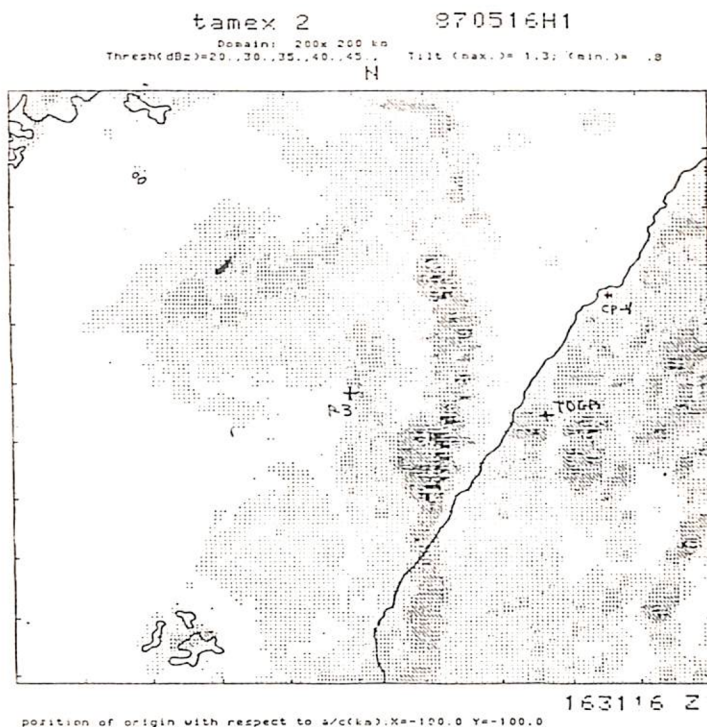


圖 24：WP-3D 飛機飛行於中部近海時機身下之 C-Band 雷達水平向回波實例圖。

這次的任務大家覺得很刺激，在雲物理機座的附近引擎，張修武曾看到有燃燒發火的現象，事後周仲島告訴我們有一個引擎附近是燒了三個小洞，可能是因飛行途中除冰時所造成的。事後覺得是很危險，尤其是刻意飛進 Cb 雲中，不過想想 WP-3D 平常都飛進颶風的暴風圈中從事偵測，我們也就鼓足勇氣等待第三次任務的到來。這次對台灣附近天氣系統之有效觀測的飛行，至 17 日琉球上午 7 點落地共飛行了 8.8 小時。

三、第三次 IOP (a. 21 日 1400L ~ 22 日 0800L ; b. 22 日 1400L ~ 23 日 0400L)

第二次 IOP 之後等了 5 天才進行 IOP#3，此期間在台北 OCC 之美方負責人 John Cunningham 特別到琉球一趟了解實況，我方第二梯次人員江火明和黃拔源也在 19 日到達，當天中美雙方任務科學家聚會在一起，更建立彼此合作的良好友誼。

由圖 25 的 5 月 21 日 0000Z 地面圖顯示，華南地區有鋒面系統發展，鋒前並有對流雲系在發展東移，至 22 日 0000Z 由圖 26 可見，因我國大陸並無



圖 25：民國 76 年 5 月 21 日 0000Z 地面天氣圖。



圖 26：民國 76 年 5 月 22 日 0000Z 地面天氣圖。

明顯高壓，故鋒面東移非常緩慢。雲圖顯示主雲區位於鋒前廣東沿海一帶向東方移進，是觀測 MCS 隨西南氣流向本省移動的好個案。第三次 IOP 分二段執行，IOP-3a 從 21 日 0600Z ~ 22 日 0000Z 共 18 小時，而 IOP-3b 是 6 小時後又恢復由 22 日 0600Z ~ 22 日 2000Z 共 14 小時，二次都有飛機觀測，主要是觀測鋒前西南氣流導引下的中尺度對流系統，圖 27 即為 22 日 0000Z 的衛星雲圖。

IOP-3a 的飛行路徑如圖 28 所示，除繞台灣飛一圈外，重點擺在台灣西側西南氣流仰風面，不過除了在馬公西南方海域略有回波外，主雲區乃位於廣東沿海，故此行台灣區的天氣非常良好也沒有亂流。除了飛航本身記錄外，其餘的現象並沒有錄到很好的回波。這次我方五位任務科學家均上機，



圖 27：民國 76 年 5 月 22 日 0000Z GMS 衛星雲圖。

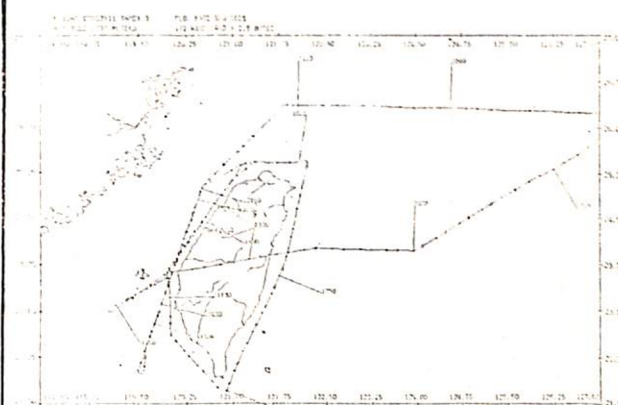


圖 28：WP-3D 飛機第三次 IOP-3a 之飛行軌跡圖。

雲物理改由黃拔源操作，雷達由江火明接替，張、葉二員成為觀察員可借機多見學各種機座操作之情況。IOP-3a 之飛行在本省附近雖沒有碰到惡劣天氣，但返航落地時遭遇了危險天氣，使得 WP-3D 臨進場又拉起機頭，開始在琉球上空不停的打轉，這一個多小時所遭遇的亂流給我方人員帶來相當難受的感覺。飛機盤旋到上午 7 點 12 分始安全落地，由機場的水勢可知這段時間 Kadena A.F.B. 上空是下了一場大陣雨。這次的航程總共花費 10.3 小時，已快接近 P-3 的最大滯空巡航時間。

完成這次任務後當日下午張修武與作者先行返國，周仲島則留下以便與新進人員有所重疊。而此時 (參見圖 26 及 27) 梅雨鋒尚在華東至華南一帶，鋒前之 MCS 正接近海峽南部中，故台北 OCC 決定 22 日 0600Z 又恢復 IOP 至 2000Z 止共 14 小時。

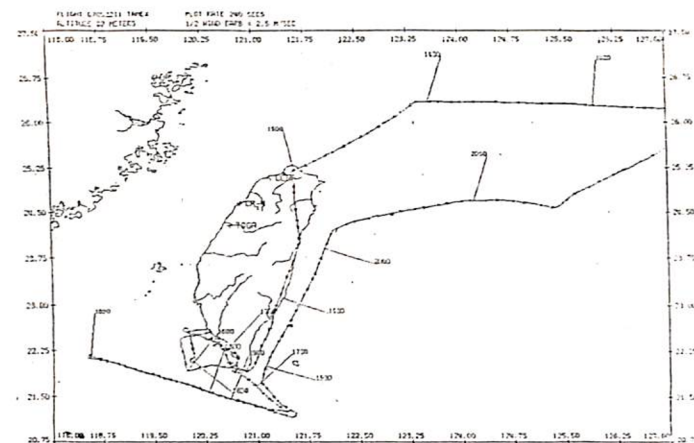


圖 29：WP-3D 飛機第三次 IOP-3b 之飛行軌跡圖。

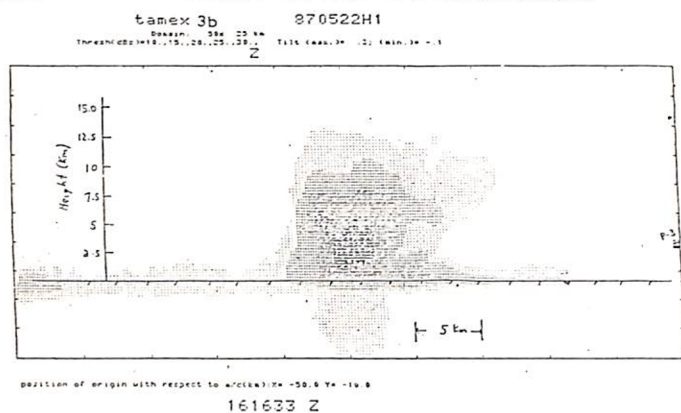


圖 30：WP-3D 飛機飛行於南部近海時機尾 X-Band 雷達垂直向回波實例圖。

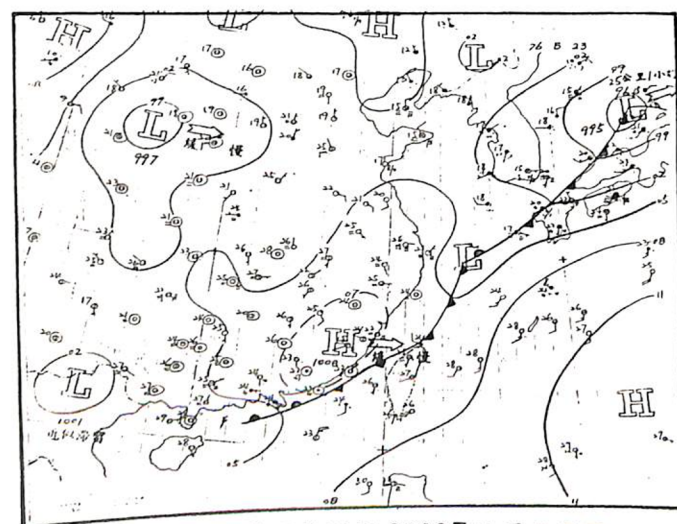


圖 31：民國 76 年 5 月 23 日 0000Z 地面天氣圖。

22 日夜 WP-3D 再度起飛加入作業，其飛行路徑如

圖 29 所示，除了觀測東部過山之氣流外，重點在台灣南側近海及追蹤巴士海峽至台灣海峽南部之對流雲系統。圖 30 即機尾雷達垂直掃描所獲得之回波圖，Cb 雲之發展可達 13 公里高，並可見明顯之降雨回波。IOP-3b 之飛機觀測共費時 8.1 小時。這次梅雨鋒移速甚慢，圖 31 為 23 日 0000Z 地面天氣圖，鋒面雖南移到台灣北部近海但系統已減弱中。總共分成二段執行之 IOP#3 共有 32 小時，空中觀測兩次合計 18.4 小時。

肆：感想

這次美方各研究機構及大學除了氣象科學家和教授們親自飛來我國參與 TAMEX 之作業研討外，並提供二座 Doppler 雷達及一架氣象觀測機 (WP-3D) 前來共襄盛舉。這表示我國氣象學家及工作者的熱誠、儀器裝備的能力、研究的風氣、處理大型科學實驗的能力和精進已達水準獲得肯定。加以台灣本島處於冬、夏季風轉型期的梅雨現象及台灣地形的特殊性，政府大力的支持和國內氣象界本身的熱心參與，才能同時吸引美方氣象科學界的興趣與高度的參與感。

為期兩個月 (民國 76 年 5 ~ 6 月份) 的 TAMEX 實驗期及其間的密集觀測所獲得寶貴的資料，將對這段時間內：梅雨鋒面、低層噴流、中尺度低壓、外流邊界、地形效應、中尺度對流系統之環境條件及激發機制……等等現象，提供了新的研究素材、方法和方向，其在基礎研究、應用研究及預報技術發展方面會有良好的主、客觀有利條件，不但我們獲得寶貴的經驗，更可以提昇我國在國際氣象學術界的地位。

國內經過這次學術與作業單位之通力合作，雖然說真的，每位直接或間接參與的人都很辛苦，即要維持本身任務及教學工作的正常運作，又要額外推動及參與 TAMEX 計畫，所獲得成果與情感交流都在有形或無形中提升了。國科會的積極支持，中央氣象局提供良好的作業環境，民航局、空軍……等各單位提供必要的裝備和人力，使得這次的 TAMEX 計畫執行的很成功順利，大家都要感謝也值得慶賀。

參考文獻

1. F.J. Merceret (1981): The Determination of Navigational and Meteorological Variables Measured by NOAA WP-3D Aircraft, PP. 21, NOAA Technical Memorandum ERL RFC-1.
2. C.B. Emmanuel (1983): The NOAA WP-3D Meteorological Research Aircraft, Fifth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation, P. 216 ~ 221, A. M. S.
3. NCAR (1985): Taiwan Area Mesoscale Experiment (Overview Document) PP. 40.
4. T.J. Mercer, C.W. Kreitzberg (1986): GALE Field Program Summary, Drexel University P.P. 450.

5. 陳泰然等 (1985): 劇烈區域性豪雨觀測與分析實驗計畫之可行性研究, P.P. 32, 國科會防災科技研究報告 73 - 42 號。
6. 陳泰然、蔡清彥、曲克恭 (1985): 美國 PRE-STORM 實驗計畫及中美合作台灣地區中尺度天氣實驗研究 TAMEX 之簡報, 科學發展月刊第 13 卷第 11 期, P. 1426 ~ 1437。
7. 劉廣英、葉文欽 (1985): 台灣地區豪雨及豪雨實驗計畫, 氣象預報與分析第 105 期, P. 1 ~ 18。
8. 編輯室 (1986): 劇烈區域性豪雨觀測與分析實驗 (TAMEX) 簡介, 中華民國氣象學會會刊第 27 期, P. 2 ~ 3。
9. 陳泰然等 (1986): 台灣地區中尺度實驗 (TAMEX) 之實驗設計, 國科會防災科技研究報告 75 - 01 號, PP. 93。
10. 陳泰然等 (1986): 台灣地區中尺度實驗 (TAMEX) 之初步實地作業計劃, 國科會防災科技研究報告 75 - 02 號, PP. 100。
11. 中美合作規畫小組 (1987): TAMEX Operations Plan, PP. 184, 國科會防災科技研究報告 75 - 35 號。