

提 要

- 一、1991 年波灣戰爭期間，美軍曾遭遇「大地基準點」不統一，致造成方格偏差達千公尺之窘境。鑒於全球各地仍存在百餘種不同之地圖基準，美軍聯戰準則（2-03）----「聯合作戰中地球科學資訊與軍種支援之聯合戰術、技術與程序」中強調：建立 WGS-84 座標系統為聯合作戰之標準，並列為長期努力目標。
- 二、WGS-84 為「1980 年世界大地系統」，亦稱之為 GPS 座標系，係美國防部所創造之一種地心座標系統，目的在使各種不同之大地基準可相互參考，並進一步化為一致。我國為配合 GPS 衛星測量廣泛運用之潮流與趨勢，民 86 年由內政部籌建「1997 年台灣大地基準」（TWD-97），國軍為因應此一重大政策，改採 WGS-84 修訂軍事測量與製圖應用等作業。TWD-97 與 WGS-84 僅些微差異，就製圖而言，兩者互通。
- 三、國軍目前甫完成 WGS-84 座標系統建立，已具備圖資精確、基準統一與發揮新武器系統效能等基本優勢。惟建立 WGS-84 僅為起點，仍有賴適切運用與持續研發、精進，方可擴大聯戰效益。

美軍聯戰準則 2-03 閱後心得：「運用 WGS-84 座標系統支援聯合作戰」

壹、前言：

美軍聯戰準則（2-03）——「聯合作戰中地球科學資訊與軍種支援之聯合戰術、技術與程序」中強調：地理空間資訊與勤務官須確認以及接受作戰指揮官可能發布任何基準點之指導，依據 CJCSI 3900.01「位置參考程序」建立 WGS-84 為聯合作戰之標準，惟此標準無法於短期間內完成，許多大比例尺之標準「國家影像製圖局」（National Imagery and Mapping Agency，NIMA）產品仍然存在使用本地基準點，將全部印製產品轉變成 WGS-84 之努力仍然是一項龐大的工作……¹。基於建立 WGS-84 座標系統對聯合作戰地理空間資訊極為重要，並列為美軍長期努力目標，特探討 WGS-84 座標系統之緣起、內涵、國軍建立現況、支援聯合作戰之效益與未來努力方向等，俾供研讀與運用參考。

貳、「世界大地系統」（WGS）建立緣起：

「世界大地系統」（World Geodetic System，WGS）係美國國防部於 1950 年代末期，創造之一種地心座標系統，目的在使各種不同之「大地基準」（Datum；亦稱大地基準點、地圖基準）可相互參考，並進一步化為一致。經美國「國防製圖局」（THE DEFENSE MAPPING AGENCY，DMA；現已更名為「國家影像製圖局」-NIMA）、空軍有關單位、海軍武器試驗所與海洋局共同研究發展，利用天文、大地與人造衛星資料等測量成果，求得一種能適合各主要大地基準點之「橢球體」（Ellipsoid 或 Spheroid），即「1960 年世界大地系統」（WGS-60），其後又發展出 WGS-66、WGS-72，最後到現在的 WGS-84²。

¹ 《聯合作戰中地球科學資訊與軍種支援之聯合戰術、技術與程序》，《美軍聯戰準則 2-03》，國防部聯演中心譯印，頁 23。

² 許哲明，《實施新國家座標系統（TWD-97）之影響》，《測量技術通報 100 期》，民 87 年 6 月，頁 3。

基於「全球定位系統」(Global Positioning System, GPS) 係以 WGS-84 為參考座標系，特稱之為「GPS 座標系」。WGS-84 業已結合幾何學、大地水準面、重力等資料，製作出最完美之地球模型。尤其在美加地區可完全符合原有使用「1980 年大地參考系統」(Geodetic Reference System 1980, GRS-80) 之「1983 年北美大地基準」(North American Datum 1983, NAD-83)。

參、WGS-84 座標系統內涵：

GPS 所使用之 WGS-84 屬於一種「傳統地球座標系」(Conventional Terrestrial System, CTS)，係將美國前「海軍導航衛星系統」(Navy Navigation Satellite System, NNSS) --- 都卜勒 (Doppler) 參考座標系 NSWC 9Z-2 之原點、比例尺加以修正 (加入 +4.5 公尺之 Z 軸偏差改正，-0.699 公尺之尺度改正與 +0.814 秒之定義起始子午面之經度偏差改正)，並將其旋轉使參考子午線與國際時間局 (Bureau International de l'Heure, BIH) 所定義之 1984 年零時子午線一致³ (WGS-84 橢球與物理參數，如表一)。

表一

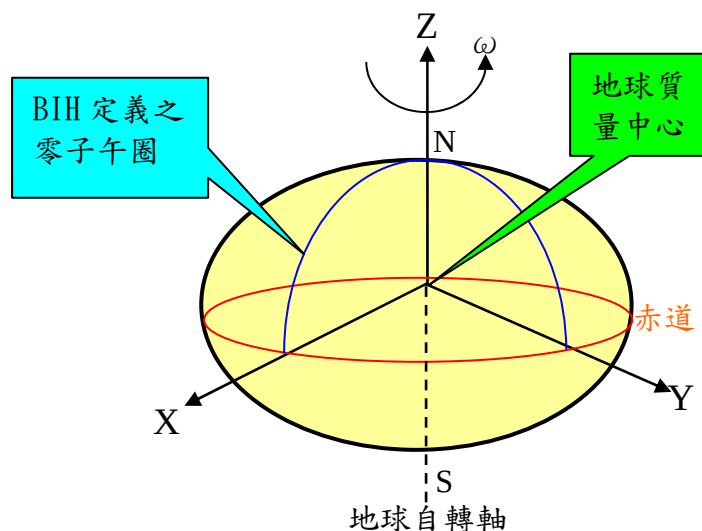
WGS-84 座標系統橢球與物理參數對照表			
項 目	符 號	參 數 與 常 數 值	
長 半 徑	a	6378137±2m	
扁 率	f	1/298.257223563	
地球自轉角速度	ω	$(7292115 \pm 0.15) \times 10^{-11} \text{rads}^{-1}$	
第二階帶諧引力係數	$\bar{C}_2$	$(-484.16685 \pm 0.0013) \times 10^{-6}$	
地球引力常數	GM	$(3986005 \pm 0.6) \times 10^8 \text{m}^3 \text{s}^{-2}$	
真 空 中 之 光 速	C	299792458±1.0ms ⁻¹	

資料來源：涂裕民，《軍圖用之座標轉換研究》，《測量技術通報 101 期》，民 88 年 6 月，頁 140。

³高拔萃，快速靜態定位應用於控制測量之研究，交大土木研究所，民 81 年 6 月，頁 8。

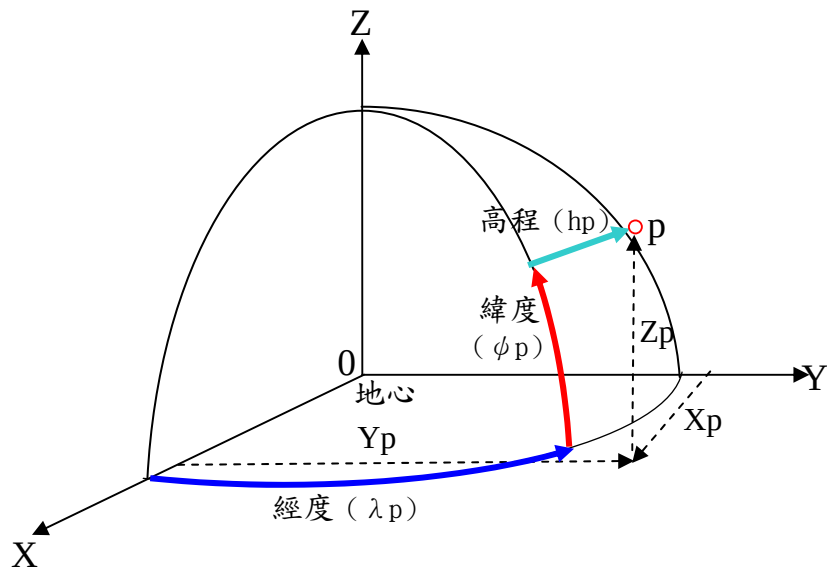
一、座標：

WGS-84 參考原點係地球之質量中心，即地心直角座標系統，Z 軸方向與 BIH 定義之「傳統地球極」(Conventional Terrestrial Pole, CTP) 方向平行，零子午圈亦與 BIH 所定義之零子午圈平行，X 軸與 Z 軸互相垂直且指向零子午圈方向，Y 軸與 X、Z 互相垂直而形成一右旋直交座標系（如圖一、二）。



圖一：WGS-84 座標系統示意

資料來源：高拔萃，《快速靜態定位應用於控制測量之研究》，交大土木研究所，民 81 年 6 月，頁 8。



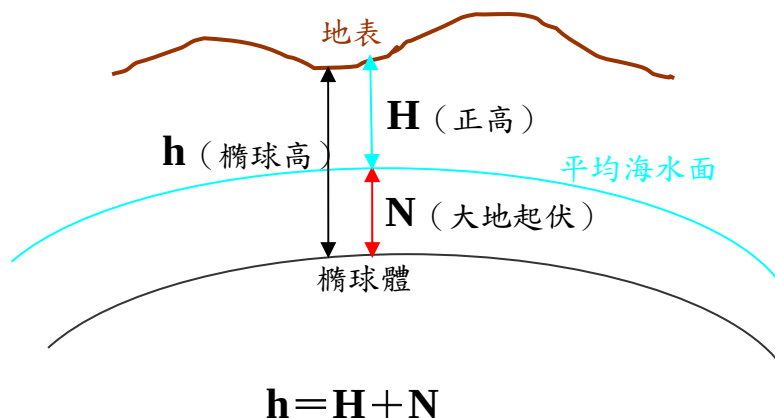
圖二：WGS-84 座標系統定義方式示意

資料來源：曾清涼，《人造衛星觀測自動定位應用於地面控制測量》，《第四屆測量學術及應用研討會論文集》，民 74 年 3 月，頁 121。

二、高程：

GPS 定位所得之高程係由 WGS-84 橢球面起算，稱為「幾何高度」或「橢球高」(h)，其與水準測量所得之「平均海水面高」（視同大地水準面）高程稱為「正高」(H)，兩者之間相差大地起伏 (N)。如忽視垂線偏差，則三者關係可表示為 $h = H + N$ （如圖三）⁴。

⁴曾清涼，《人造衛星觀測自動定位應用於地面控制測量》，《第四屆測量學術及應用研討會論文集》，民 74 年 3 月，頁 120。



圖三：橢球起算高度、正高、大地起伏示意

資料來源：曾清涼，《人造衛星觀測自動定位應用於地面控制測量》，
《第四屆測量學術及應用研討會論文集》，民74年3月，頁121。

肆、國軍 WGS-84 座標系統建立：

民國 86 年，內政部為建立統一之國家座標系統，並配合 GPS 衛星定位測量廣泛運用之潮流與趨勢，經邀請產、官、學界代表研究籌建一整合性之新國家座標系統，命名為「1997 年台灣大地基準」（Taiwan Datum 1997, TWD-97），以取代原使用「1967 年大地參考系統」（Geodetic Reference System 1967, GRS-67）」之「虎子山座標系統」。鑑於國家座標系統為各項測量之根本，國軍為因應此一重大政策，改採 WGS-84 座標系統修訂軍事測量與製圖應用等作業。惟 TWD-97 並非美軍採用之 WGS-84⁵，其實際內涵、差異與建立過程分述如後。

一、TWD-97 內涵：

- （一）TWD-97 建構係採用「國際地球參考框架」（International Terrestrial Reference Frame, ITRF），係利用全球測站網之觀測資料成果推算所得之地心座標系統，其方位採國際時間局（BIH）定義在 1984.0 時刻之方位。

⁵同註 2，頁 1。

(二) TWD-97 參考橢球體採 1980 年「國際大地測量學與地球物理學協會」(International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG) 公佈之「大地參考系統」(GRS-80)，其橢球體參數：

長半徑 (a) = 6378137 公尺

扁率 (f) = $1/298.257222101$

二、TWD-97 與 WGS-84 之差異：

- (一) TWD-97 與 WGS-84 同屬地心座標系統，原點皆為地球質量中心，方位皆採 BIH 定義在 1984.0 曆元之方位⁶，惟 TWD-97 採用之 ITRF 尺度屬於區域之「地球標」(Local Earth Frame)，並非如 WGS-84 般可供各種不同之大地基準相互參考 (TWD-97 與 WGS-84 比較，如表二)。
- (二) TWD-97 所採用之 GRS-80 與 WGS-84 橢球體相關參數相同，僅扁率 (f) 有些微差異。然就製圖而言，GRS-80 與 WGS-84 橢球體是互通的，且 GRS-80 已相當可靠，在建立 WGS-84 時，相關參數仍採用該參考系之基本數值⁷ (表一之： a 、 ω 、 GM)。
- (三) 內政部目前僅公佈 TWD-97 絕對座標--大地 (經、緯度) 座標與投影後之 2 度分帶 TM 縱、橫座標，國防部則增加 WGS-84 投影後之 6 度分帶 UTM 方格座標。

⁶許哲明，《台灣地區五萬分之一地形圖整備之探討》，《測量技術通報 101 期》，民 88 年 6 月，頁 16。

⁷同註 2，頁 5。

表二

TWD-97 與軍圖 WGS-84 座標系統比較表			
項目	比較 區分	1997 年台灣大地 基準 (TWD-97)	1984 年世界大地 系統 (WGS-84)
橢 球 體	種 類	GRS-80	WGS-84
	長半徑	6378137 公尺	6378137±2 公尺
	扁 率	1/298.257222101	1/298.257223563
大地基準		1994 年 ITRF (地心)	地球質心 (地心)
投影座標		TM 2 度分帶	UTM 6 度分帶
高 程		橢球高	正高 (平均海水面高)

資料來源：作者自製

三、建立過程：

(一) 建立衛控點與 TWD-97：

內政部為建立完整、高精度之基本控制點系統，自 82 年度開始辦理「運用全球定位系統實施台閩地區基本控制點測量計畫」，於台閩地區建立 8 個衛星追蹤站，經參酌傳統三角點與中央研究院既有衛星控制點，並配合網形分布與點位實用性，計建立 I 等衛星控制點 105 點與 II 等衛星控制點 621 點，已於 87 年完竣⁸，各項成果皆架構在 TWD-97 上，採用 1994 年 ITRF，並化算至 GRS-80。

(二) 軍圖改版與修訂圖資：

TWD-97 實施後，國軍除將各式軍圖改為與 TWD-97 互通之 WGS-84 座標系統外，同時修訂圖資，

⁸李彥弘等，《台閩地區衛星控制點查詢系統之設計與建置》，《第 16 屆測量學術及應用研討會》，1997 年 9 月中正理工學院，頁 166。

並將原使用之「世界橫麥卡脫投影」方格座標（Universal Transverse Mercator，UTM）衍生成為「軍用方格參考系統」（Military Grid Referencing System，MGRS），新版軍圖已於 94 年撥發部隊使用。

（三）頒布軍用大地基準控制點成果：

因內政部衛星測量中心所公佈之衛星控制點成果，僅有 TWD-97 大地座標（經、緯度）、地圖投影後之 TM2 度分帶方格座標與橢球高，並無軍圖使用之 WGS-84、UTM-6 度分帶方格座標與正高，94 年由國防部軍備局頒布「台灣地區軍用大地基準控制點座標成果簿」，提供砲兵部隊防區測地使用。

伍、WGS-84 支援聯合作戰之效益：

國軍 WGS-84 座標系統建立後，圖資更為新穎精確，作戰平台已由區域性朝向全球性，且可滿足三軍新一代武器系統運用與導航、定位需求。特將 WGS-84 支援聯合作戰之效益，分述如後。

一、圖資精確，利於作戰運用：

台灣地區於 69 年後，採用「虎子山座標系統」，係以「GRS-67」橢球體、虎子山大地基準原點，惟因當年檢測之控制點（天文點、三角點與精導點等）精度，受當時儀器性能、測量技術與計算工具之限制，且歷經十餘年地殼變動、天然災害、人為破壞等因素影響，已不敷使用。甚至經專家學者之研究顯示，「虎子山座標系統」並非最適合台灣地區⁹。基於國家各項經濟建設所需，內政部於 82 年度起運用 GPS 衛星測量技術與建構 TWD-97，國軍於 94 年因應國家政策改用 WGS-84，除更新軍圖座標系統，提昇圖資位置與屬性精度外，更運用於「數位化指管系統」內，俾利地形研究、兵力部

⁹ 同註 2，頁 7。

署、作戰指揮、目標指示、「共同作戰圖像」(Common operating picture, COP)測地(定位定向)與火力運用等作為，有效支援聯合作戰。

二、基準統一，充分發揚火力：

美軍 1991 年波灣戰爭期間，曾遭遇砲兵陣地與「反砲兵雷達」(AN/TPQ-37)陣地之「大地基準點」不同，致目標與射擊諸元之偏差達千公尺以上，故要求測地人員應先瞭解作戰指揮官所規定使用之大地基準點種類，並將目標獲得與射擊單位皆轉換至上級所規定之大地基準點¹⁰。目前全球各地經美國「國家影像製圖局」(NIMA)所認定之地圖基準，仍超過百餘種，如全部轉換為 WGS-84 須列為長期努力目標。鑒於波灣戰爭教訓，美軍聯戰準則(2-03)特強調地理空間資訊勤務官須確認以及接受作戰指揮官可能發布任何基準點之指導¹¹。

我國台澎地區原使用 GRS-67，金馬地區則採「海福特 1924」(GRS-1924)¹²，兩地大地基準並不統一。當軍圖全面更改為 WGS-84 座標系統後，台澎與金馬地區已達成方格統一，將不致發生方格偏差之情況，可充分發揚聯合作戰支援火力。

三、座標吻合，發揮新武器效能：

國軍新一代武器、指管、射控與導航(定位)等系統，多使用與美軍相同之 WGS-84 座標系統。當國軍建立 WGS-84 座標系統與 MGRS 後，無須座標轉換即可滿足作業需求，除有利新(精準)武器系統運用外，更可增進聯合作戰火力支援時效。

¹⁰ Staff Sergeant Dwight D. Mckillip, 《Survey for Remote Areas》, 《Field Artillery》 6/1993, p24。

¹¹ 同註 1, 頁 23。

¹² 同註 2, 頁 8。

陸、國軍未來努力方向：

當國軍建立 WGS-84 座標系統後，僅具備圖資精確、基準統一與發揮新武器系統效能之基本優勢，仍有賴適切運用與持續研發、精進，方可擴大聯戰效益。

一、依據控制點成果，執行防區測地：

軍圖改版為 WGS-84 座標系統後，砲兵原使用 GRS-67 所建立之防區測地成果已不適用（GRS-67 轉換 WGS-84 座標系統改變對照，如表三），應依據「台灣地區軍用大地基準控制點成果」或將內政部「衛星控制點成果」轉換為 WGS-84、UTM-6 度分帶方格座標作為起始基準，按固安作戰計畫各案重行防區測地，俾達成地面火力支援任務。

表三

GRS-67 轉換 WGS-84 座標系統改變對照表		
項	目	轉 換 改 變
方格帶、區		未改變
十萬公尺 方格符號		改為與美軍「軍用方格參考系統」（MGRS）相同
方格 座標	橫座標	約+828.589公尺
	縱座標	約-205.915公尺
標 高		未改變
方 位 角		約11-13秒（約0.065密位）
座 標 誤 差 分 析		座標雖屬平移，惟徑誤差（誤差向量）位於南投埔里虎子山（原 GRS-67 大地基準點）附近最小，離虎子山越遠，徑誤差則越大，最大約 6.4 公尺，顯示兩種座標系統存在尺度誤差。

資料來源：作者自製

二、建構地理資訊系統，支援空間決策：

「地理資訊系統」(Geographic Information System, GIS) 自 60 年代發展至今，技術不斷提昇，且被廣泛運用於各種領域之中。GIS 除可存取、查詢空間資訊外，更重要的是其資料架構（特別是相位資料結構、資料庫管理系統等）可提供諸多之空間分析運用，因此可建構出屬於軍事用途之空間決策支援系統¹³，支援軍事作戰。

GIS 須具備地圖表現、大型資料庫之組織工具與空間分析等能力¹⁴。基於傳統紙質軍圖僅具備 GIS 之基本圖資，製圖單位應善盡地理情報提供者責任，將數值地理資料應用於 GIS，支援空間決策。

三、善用全球定位系統，輔助導航定位：

基於「全球定位系統」(GPS) 係以 WGS-84 為參考座標系，當使用 WGS-84 後，無疑擴大 GPS 使用範疇。然 GPS 受美國國防部管理與控制，且衛星信號易遭受干擾、偽冒與欺騙，故不可過分依賴，宜採「慣性」(INS) /GPS 整合系統或將 GPS 作為輔助導航、定位使用，以確保運用安全。

柒、結語：

1991 年波灣戰爭期間，美軍曾遭遇「大地基準點」不同，致造成方格偏差達千公尺之窘境。鑒於全球各地仍存在百餘種不同之地圖基準，特指定 WGS-84 座標系統為聯合作戰之標準，並將基準點統一系列為長期努力之目標。

國軍目前甫完成 WGS-84 座標系統建立，已具備圖資精確、基準統一與發揮新武器系統效能等基本優勢。惟建立

¹³ 林開輝，《利用地理資訊系統建立空間決策支援系統——以戰車越野行動為例》，《測量技術通報第 97 期》，民 84 年 5 月，頁 1-2。

¹⁴ 樊先達，《地理資訊系統提供各項民生建設及軍事戰訓之應用》，《測量技術通報第 97 期》，民 84 年 5 月，頁 16-17。

WGS-84 僅為起點，仍有賴適切運用與持續研發、精進，方可擴大聯戰效益。