

高斯類擴散模式AERMOD技術文件

2022/12/22 版本

本土化氣象資料與地形資料之計算原理與選用規範

1.1 AERMOD 高斯擴散模式之簡介

(一)AERMOD 之濃度預測公式

AERMOD 高斯擴散模式是一種穩定態煙流模式 (steady-state plume model)(USEPA, 2018a)，此模式在指定的時間間隔內，例如在 1 小時內，假設流動條件為恆定且與時間無關時，AERMOD 模式之濃度預測通用公式如下：

$$C(x_r, y_r, z) = \frac{Q}{\tilde{u}} F_y F_z \quad (1)$$

其中 $C(x_r, y_r, z)$ 為座標為 (x_r, y_r, z) 之受體點濃度； Q 為污染源排放率； \tilde{u} 為風速； F_y 及 F_z 分別是水平及垂直方向濃度分佈函數。水平方向濃度分佈函數(F_y)與大氣穩定度無關，不管是穩定邊界層(SBL)或對流邊界層(CBL)，其定義如下：

$$F_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (2)$$

其中 σ_y 是水平方向的擴散係數。

(1)AERMOD 穩定大氣條件下(SBL)之濃度預測公式

在穩定邊界層中，AERMOD 模式的垂直方向濃度分佈函數 F_z 與其他高斯擴散模式的形式相同：

$$F_z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{zs}} \sum_{m=-\infty}^{m=+\infty} \left[\exp\left(-\frac{(z - h_{es} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_{es} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) \right] \quad (3)$$

其中 z_{ieff} 為有效機械混合層高度(m)； σ_{zs}^2 為穩定大氣垂直擴散係數(m)及 h_{es} 為有效煙流高度(m)。因此，穩定大氣條件下 AERMOD 之濃度預測公式如下(USEPA, 2018a)：

$$C_s\{x_r, y_r, z\} = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}\sigma_{zs}} \cdot F_y \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[\exp\left[-\frac{(z - h_{es} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + h_{es} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right] \right] \quad (4)$$

(2)AERMOD 不穩定大氣條件下(CBL)之濃度預測公式

AERMOD 模式針對對流邊界層的濃度預測相較於穩定邊界層更為複雜，總對

流濃度 (C_c) 為直接源 (C_d)、間接源 (C_r) 和穿透源 (C_p) 三個源之濃度總和 (USEPA, 2018a)：

$$C_c(x_r, y_r, z) = C_d(x_r, y_r, z) + C_r(x_r, y_r, z) + C_p(x_r, y_r, z) \quad (5)$$

其中 C_c 是對流層大氣中濃度預測值； C_d 為直接源貢獻濃度 (Direct Source Contribution to Concentration Calculations)； C_r 為間接源貢獻濃度 (Indirect Source Contribution to Concentration Calculations)； C_p 為穿透源貢獻濃度 (Penetrated Source Contribution to Concentration Calculations) (圖 1.1.1-1)。

C_d 直接源貢獻濃度公式為：

$$C_d\{x_r, y_r, z\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[\exp \left[-\frac{(z - \Psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z + \Psi_{dj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2} \right] \right] \quad (6)$$

C_r 間接源貢獻濃度公式為：

$$C_r\{x_r, y_r, z\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[\exp \left[-\frac{(z + \Psi_{rj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z - \Psi_{rj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2} \right] \right] \quad (7)$$

C_p 穿透源貢獻濃度公式為：

$$C_p\{x_r, y_r, z\} = \frac{Q(1-f_p)}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}\sigma_{zp}} F_y \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[\exp \left[-\frac{(z - h_{ep} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zp}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z + h_{ep} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zp}^2} \right] \right] \quad (8)$$

其中 f_p 是煙流在對流邊界層中之質量所佔比例； λ 代表對流層中之上升氣流 ($j=1$) 以及下沉氣流 ($j=2$) 之加權指數， $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$ ； Z_i 為混合層高度 (m)； σ_{zj}^2 為對流大氣垂直擴散係數 (m)； σ_{zp}^2 為穿透穩定層之大氣垂直擴散係數 (m)； Ψ_{dj} 為直接源之有效煙流高度 (m)； Ψ_{rj} 為間接源之有效煙流高度 (m)； h_{ep} 為穿透源之有效煙流高度 (m) (USEPA, 2018a)。

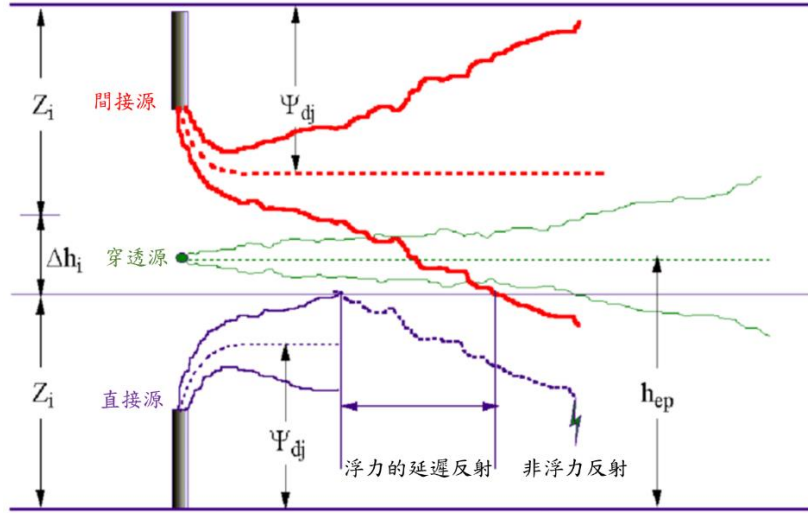


圖 1.1.1-1 AERMOD 模式於對流邊界層中的三種污染源之濃度貢獻示意圖
(USEPA, 2018a)

(二) 複雜地形之濃度預測公式

AERMOD 將考慮複雜地形效應後之煙流總濃度 $C_T\{x_r, y_r, z_r\}$ ，設為水平繞山煙流濃度 $C_{c,s}\{x_r, y_r, z_r\}$ 與垂直越山煙流濃度 $C_{c,s}\{x_r, y_r, z_p\}$ 之組合(圖 1.1.2-1)：

$$C_T(x_r, y_r, z_r) = f C_{c,s}(x_r, y_r, z_r) + (1 - f) C_{c,s}(x_r, y_r, z_p) \quad (9)$$

其中 $C_T\{x_r, y_r, z_r\}$ 為考慮複雜地形效應後之煙流總濃度； $C_{c,s}\{x_r, y_r, z_r\}$ 為水平繞山煙流濃度(下標 c,s 為對流與穩定條件下)； $C_{c,s}\{x_r, y_r, z_p\}$ 為垂直越山煙流濃度(下標 c,s 為對流與穩定條件下)； f 為煙流狀態函數； $Z_p = Z_r - Z_t$ ， Z_t 為受體點的地形高度。 $C_{c,s}\{x_r, y_r, z_r\}$ 水平繞山煙流濃度與 $C_{c,s}\{x_r, y_r, z_p\}$ 垂直越山煙流濃度之計算公式，均為 1.1.1 節中所敘述之煙流濃度預測公式，包括穩定邊界層中公式(4)與對流邊界層(CBL)中公式(5)、(6)、(7)、(8)，但是計算 $C_{c,s}\{x_r, y_r, z_r\}$ 與 $C_{c,s}\{x_r, y_r, z_p\}$ 時，必須將公式中之 Z 值，分別以 $Z = Z_r$ 與 $Z = Z_p$ 代入。

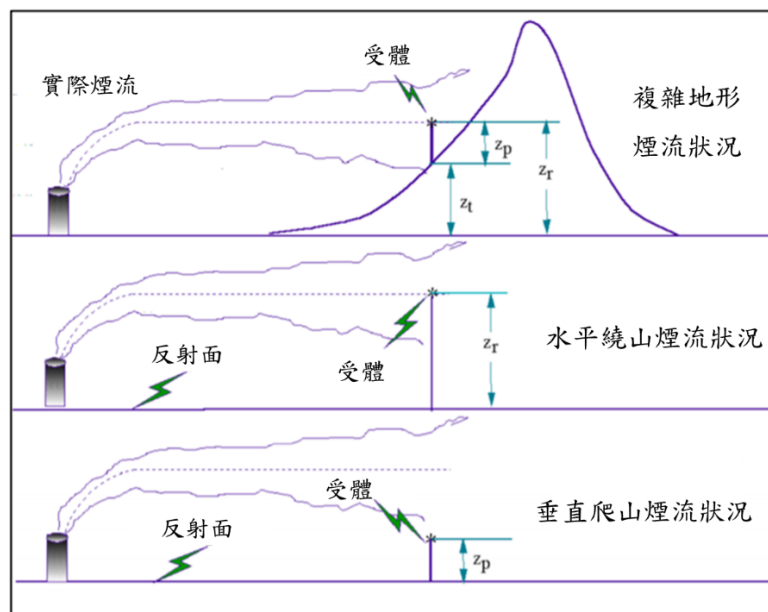


圖 1.1.2-1 複雜地形中煙流的處理概念(USEPA，2018a)

煙流能否有足夠之動能越山或產生繞山行為，與煙流動能與大氣穩定度有關。氣流在分離流高度(H_c)以上可越山，在分離流高度(H_c)以下將產生繞山行為，如圖 1.1.2-2 所示。分離流高度(H_c)之計算公式如下(USEPA，2018a)：

$$\frac{1}{2}u^2\{H_c\} = \int_{H_c}^{h_c} N^2(h_c - z) dz \quad (10)$$

其中 $u\{H_c\}$ 為 H_c 高度處之風速， h_c 為山丘之尺丘高度， N 為布維頻率(Brunt-Vaisala frequency)。在穩定大氣條件下， H_c 接近 h_c ，煙流容易產生繞山行為，在中性及不穩定條件下， H_c 接近於零，煙流容易出現越山行為。

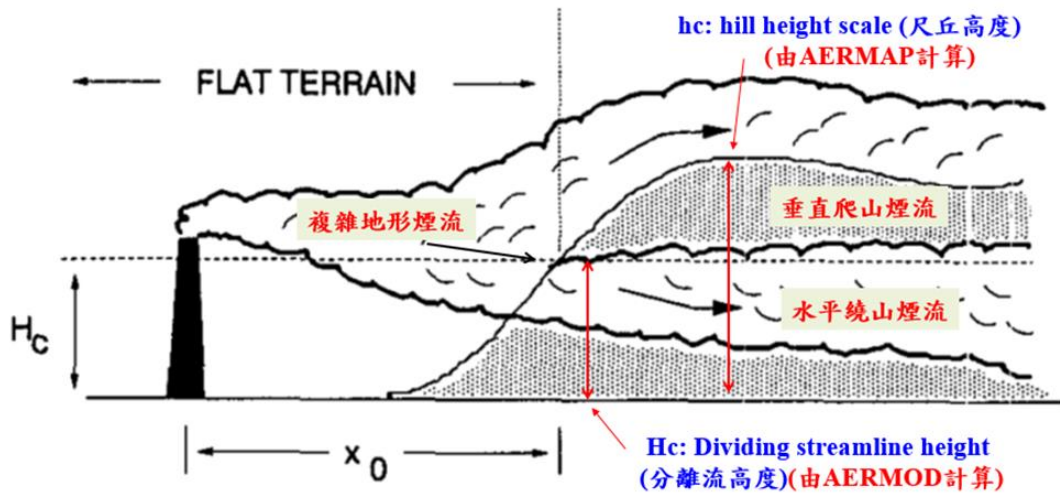


圖 1.1.2-2 AERMOD 複雜地形濃度計算示意圖

煙流狀態函數 f 與煙流質量比值 ϕ_p (圖 1.1.2-3) 有關：

$$f = 0.5 (1 + \phi_p) \quad (11)$$

$$\phi_p = \frac{\int_0^{H_c} C_s\{x_r, y_r, z_r\} dz}{\int_0^{\infty} C_s\{x_r, y_r, z_r\} dz} = \frac{M_b}{M_a + M_b} \quad (12)$$

其中 ϕ_p 為煙流質量比值，其為在分離流高度(H_c)以下之煙流質量與總煙流質量之比值。當所有煙流位於分離流高度以上時，煙流質量比值 ϕ_p 等於 0，煙流狀態函數 f 等於 0.5，即水平繞山煙流濃度與垂直越山煙流濃度各佔總煙流濃度之半。如果煙流完全低於分離流高度(H_c)，煙流質量比值 ϕ_p 等於 1，煙流狀態函數 f 等於 1，則總煙流濃度等於繞山煙流濃度。

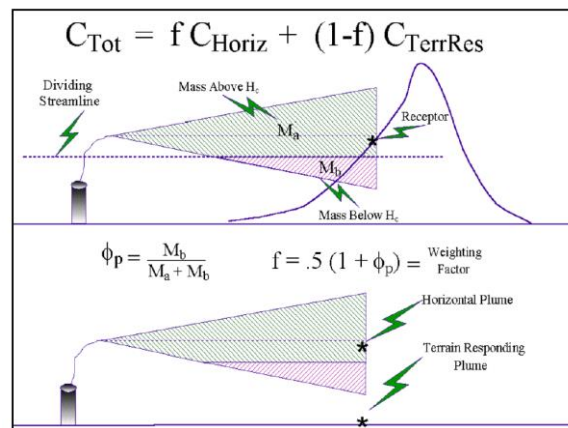


圖 1.1.2-3 煙流狀態函數與煙流質量比值之示意圖

(三)低風速效應之濃度預測公式

在常規高斯擴散的模式中，當風速趨於零時，會出現濃度預測值嚴重高估之情形，因此一般高斯擴散模式(例如 ISCST3)會將其最小風速限制在 1 m/s。AERMOD 模式考慮了低風速下之煙流擴散特性，將考慮低風速效應後之總煙流濃度 $C_{c,s}$ 設為常態煙流濃度(C_{ch})與隨機煙流濃度(C_R)之組合：

$$C_{c,s} = C_{ch} \left(1 - \frac{\sigma_r^2}{\sigma_h^2}\right) + C_R \left(\frac{\sigma_r^2}{\sigma_h^2}\right) \quad (13)$$

其中 $C_{c,s}$ (下標 c 和 s 指對流和穩定條件)為考量低風速效應後之總煙流濃度； C_{ch} 為常態煙流濃度，即考量複雜地形效應由公式(9)與配合穩定界層(SBL)中公式(4)與對流邊界層(CBL)中公式(5)、(6)、(7)、(8)所求得之濃度預測值； C_R 為隨機煙流濃度； σ_r 為隨機紊流； σ_h 為水平總紊流，主要由風速大小控制，當風速趨大時， $\frac{\sigma_r^2}{\sigma_h^2}$ 趨近於零，此時總煙流濃度由常態煙流濃度主控，當風速趨於零時， $\frac{\sigma_r^2}{\sigma_h^2}$ 趨近於 1，此時總煙流濃度由隨機煙流濃度主控。

隨機煙流濃度 C_R 之計算公式與常態煙流濃度 C_{ch} 之計算公式非常類似，主要差異僅是必須將常態煙流濃度計算公式中之水平濃度分布函數 F_y ，以隨機水平濃度分布函數 F_{yR} 取代。隨機水平濃度分布函數(F_{yR})定義如下：

$$F_{yR} = \frac{1}{2\pi X_R} \quad (14)$$

其中 X_R 為污染源到受體點之距離，其表示隨機煙流可在 2π 的角度內任意分佈。

(四)建築物下洗之濃度預測公式

AERMOD 將啟動建築物煙流下洗機制後之總濃度 C_{Total} ，設為建築物下洗模式濃度 C_{PRIME} 與 C_{AERMOD} 濃度之結合(USEPA, 2018a)：

$$C_{Total} = \gamma C_{PRIME} + (1 - \gamma) C_{AERMOD} \quad (15)$$

其中 C_{Total} 為啟動建築物煙流下洗機制後之總濃度； C_{PRIME} 為利用 Prime 機制預測之濃度(Schulman et al, 2000)； C_{AERMOD} 為考量低風速效應後之預測濃度(公式 13)； γ 為建築物下洗權重函數：

$$\gamma = \exp\left(\frac{-(x - \sigma_{xg})^2}{2\sigma_{xg}^2}\right) \exp\left(\frac{-(y - \sigma_{yg})^2}{2\sigma_{yg}^2}\right) \exp\left(\frac{-(z - \sigma_{zg})^2}{2\sigma_{zg}^2}\right) \quad (16)$$

其中 x 為受體點到建築物的迎風面距離(m)； y 為從建築物中心線到受體點的側風距離(m)； z 為受體點的離地高度(m)； σ_{xg} 為建築物尾流的軸向尺度(m)； σ_{yg} 為建築物尾流的側向尺度(m)； σ_{zg} 為建築物尾流的縱向尺度(m)。在建築物近尾流區域內(Near Wake)(圖 1.1.4-1)， C_{Total} 總濃度完全由 C_{PRIME} 決定。

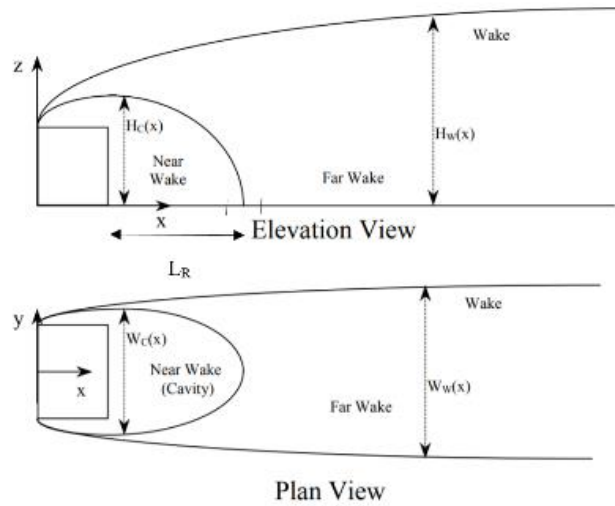


圖 1.1.4-1 建築物尾流的側視圖和俯視圖(Schulman et al, 2000)

1.2 AERMOD 氣象輸入資料之處理

1.2.1 地面資料與探空資料來源

本計劃使用 37 個地面氣象站與 5 個探空測站之原始觀測氣象資料，各測站之分布如圖 1.2.1-1 所示。地面氣象站包括 29 個局屬氣象站與 8 個自動氣象站，合計 37 站，如表 1.2.1-1 所示。其觀測資料項目包括逐時之壓力、氣溫、濕度、風速、風向、降雨量與雲量等資料，如表 1.2.1-2 所示。探空測站包括 2 個中央氣象局所屬之探空測站與 3 個空軍所屬之探空測站，合計 5 站，如表 1.2.1-3 所示。探空觀測資料項目包括壓力、高度、溫度、濕度、風向、風速等，如表 1.2.1-4 所示。各地面氣象站與探空站所代表之有效區域如圖 1.2.1-2 與圖 1.2.1-3 所示。

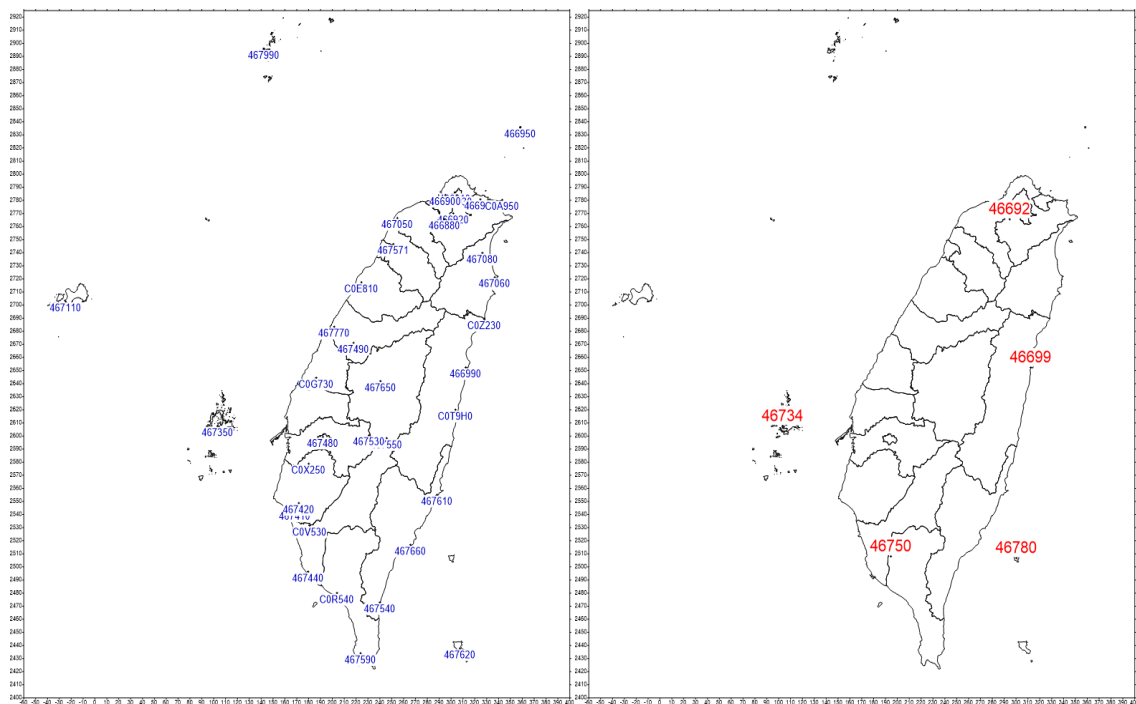


圖 1.2.1-1 本計劃所使用之地面氣象測站(圖左)與探空氣象測站(圖右)分布

表 1.2.1-1 本計劃所使用之地面氣象站

| 序號 | 測站屬性 | 所屬縣市 | 測站名稱 | 測站編號 |
|----|------|------|-------------------|--------|
| 1 | 局屬 | 臺北市 | 鞍部 ANBU | 466910 |
| 2 | 局屬 | 臺北市 | 臺北 TAIPEI | 466920 |
| 3 | 局屬 | 臺北市 | 竹子湖 ZHUZIHU | 466930 |
| 4 | 局屬 | 新北市 | 板橋 BANQIAO | 466880 |
| 5 | 局屬 | 新北市 | 淡水 TAMSUI | 466900 |
| 6 | 局屬 | 臺中市 | 臺中 TAICHUNG | 467490 |
| 7 | 局屬 | 臺中市 | 梧棲 WUQI | 467770 |
| 8 | 局屬 | 臺南市 | 臺南 TAINAN | 467410 |
| 9 | 局屬 | 臺南市 | 永康 YONGKANG | 467420 |
| 10 | 局屬 | 高雄市 | 高雄 KAOHSIUNG | 467440 |
| 11 | 局屬 | 基隆市 | 基隆 KEELUNG | 466940 |
| 12 | 局屬 | 基隆市 | 彭佳嶼 PENGJIAYU | 466950 |
| 13 | 局屬 | 桃園市 | 新屋 XINWU | 467050 |
| 14 | 局屬 | 新竹縣 | 新竹 HSINCHU | 467571 |
| 15 | 局屬 | 南投縣 | 玉山 YUSHAN | 467550 |
| 16 | 局屬 | 南投縣 | 日月潭 SUN MOON LAKE | 467650 |
| 17 | 局屬 | 嘉義市 | 嘉義 CHIAYI | 467480 |

表 1.2.1-1 本計劃所使用之地面氣象站(續 1)

| 序號 | 測站屬性 | 所屬縣市 | 測站名稱 | 測站編號 |
|----|------|------|-------------------|--------|
| 18 | 局屬 | 嘉義縣 | 阿里山 ALISHAN | 467530 |
| 19 | 局屬 | 屏東縣 | 恆春 HENGCHUN | 467590 |
| 20 | 局屬 | 宜蘭縣 | 蘇澳 SU-AO | 467060 |
| 21 | 局屬 | 宜蘭縣 | 宜蘭 YILAN | 467080 |
| 22 | 局屬 | 花蓮縣 | 花蓮 HUALIEN | 466990 |
| 23 | 局屬 | 臺東縣 | 大武 DAWU | 467540 |
| 24 | 局屬 | 臺東縣 | 成功 CHENGGONG | 467610 |
| 25 | 局屬 | 臺東縣 | 蘭嶼 LANYU | 467620 |
| 26 | 局屬 | 臺東縣 | 臺東 TAITUNG | 467660 |
| 27 | 局屬 | 澎湖縣 | 澎湖 PENGHU | 467350 |
| 28 | 局屬 | 金門縣 | 金門 KINMEN | 467110 |
| 29 | 局屬 | 連江縣 | 馬祖 MATSU | 467990 |
| 30 | 自動 | 新北市 | 鼻頭角 Bitoujiao | C0A950 |
| 31 | 自動 | 花蓮縣 | 和平 Heping | C0Z230 |
| 32 | 自動 | 花蓮縣 | 加路蘭山 Jialulanshan | C0T9H0 |
| 33 | 自動 | 高雄市 | 阿蓮 Alian | C0V530 |
| 34 | 自動 | 屏東縣 | 佳冬 Jiadong | C0R540 |
| 35 | 自動 | 臺南市 | 新營 Xinying | C0X250 |
| 36 | 自動 | 彰化縣 | 二林 Erlin | C0G730 |
| 37 | 自動 | 苗栗縣 | 西湖 Xihu | C0E810 |

表 1.2.1-2 本計劃使用之地面氣象站資料項目

| 序號 | 項目名稱 | 英文名稱 | 單位 |
|----|--------|--------------|------------|
| 1 | 觀測時間 | ObsTime | hour |
| 2 | 測站氣壓 | StnPres | hPa |
| 3 | 海平面氣壓 | SeaPres | hPa |
| 4 | 氣溫 | Temperature | °C |
| 5 | 露點溫度 | Td dew point | °C |
| 6 | 相對溼度 | RH | % |
| 7 | 風速 | WS | m/s |
| 8 | 風向 | WD | 360 degree |
| 9 | 最大陣風 | WSGust | m/s |
| 10 | 最大陣風風向 | WDGust | 360 degree |
| 11 | 降水量 | Precp | mm |
| 12 | 降水時數 | PrecpHour | h |

表 1.2.1-2 本計劃使用之地面氣象站資料項目(續 1)

| 序號 | 項目名稱 | 英文名稱 | 單位 |
|----|--------|--------------|-------------------|
| 13 | 日照時數 | SunShine | h |
| 14 | 全天空日射量 | GloblRad | MJ/m ² |
| 15 | 能見度 | Visb | km |
| 16 | 紫外線指數 | UVI | - |
| 17 | 總雲量 | Cloud Amount | - |

表 1.2.1-3 本計劃所使用之探空測站

| 序號 | 資料單位 | 縣市 | 測站 | 測站編號 |
|----|--------|-----|----|-------|
| 1 | 中央氣象局 | 臺北市 | 板橋 | 46692 |
| 2 | 中央氣象局 | 花蓮市 | 花蓮 | 46699 |
| 3 | 空軍氣象聯隊 | 澎湖縣 | 馬公 | 46734 |
| 4 | 空軍氣象聯隊 | 屏東縣 | 屏東 | 46750 |
| 5 | 空軍氣象聯隊 | 台東縣 | 綠島 | 46780 |

表 1.2.1-4 本計劃所使用之地面氣象站資料項目

| 序號 | 項目名稱 | 英文名稱 | 單位 |
|----|------|--------|------------|
| 1 | 時間 | time | sec |
| 2 | 高度 | Height | m |
| 3 | 氣壓 | P | hPa |
| 4 | 氣溫 | T | °C |
| 5 | 溼度 | U | % |
| 6 | 風速 | WS | m/s |
| 7 | 風向 | WD | 360 degree |

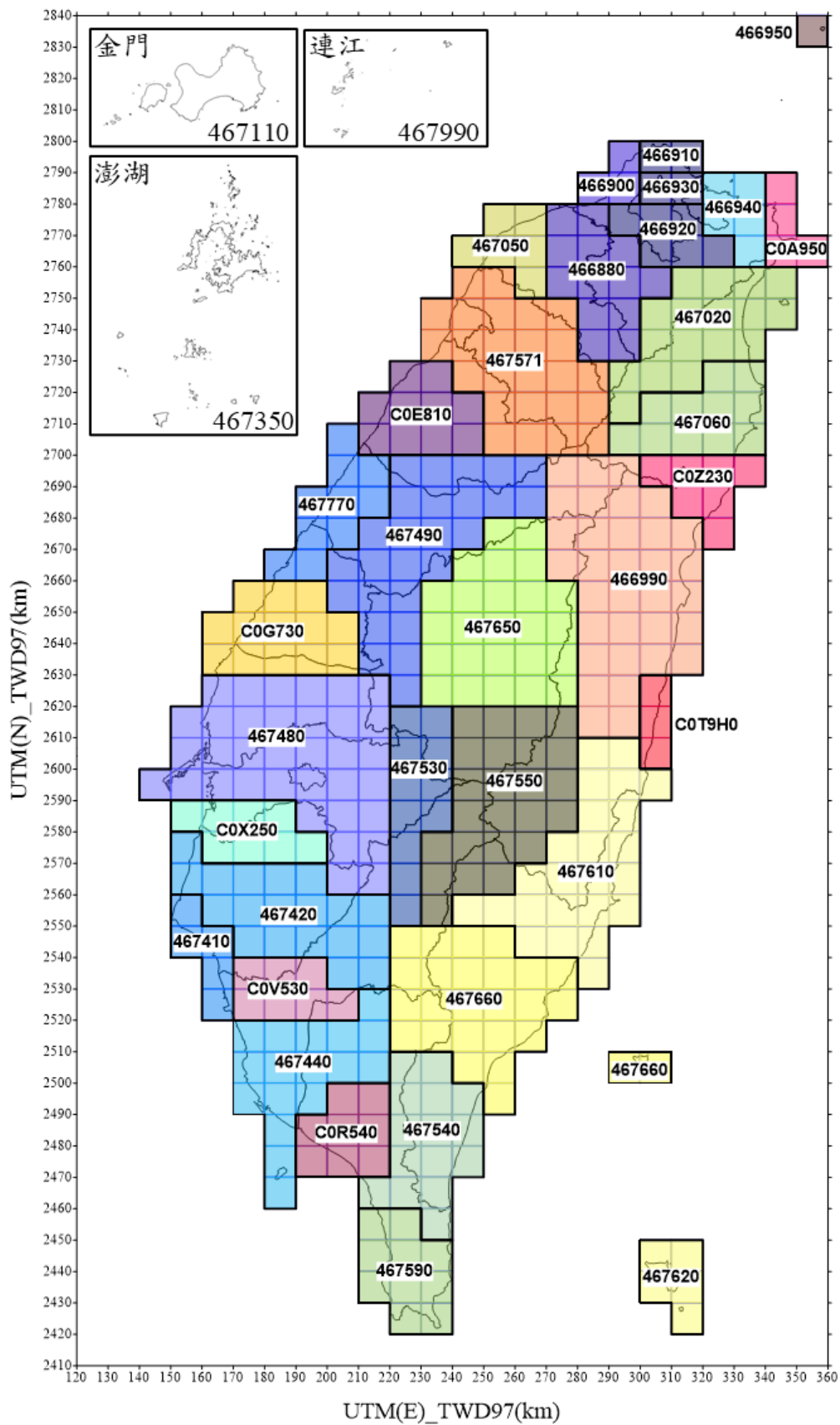


圖 1.2.1-2 本計劃各地面氣象站所代表之有效區域

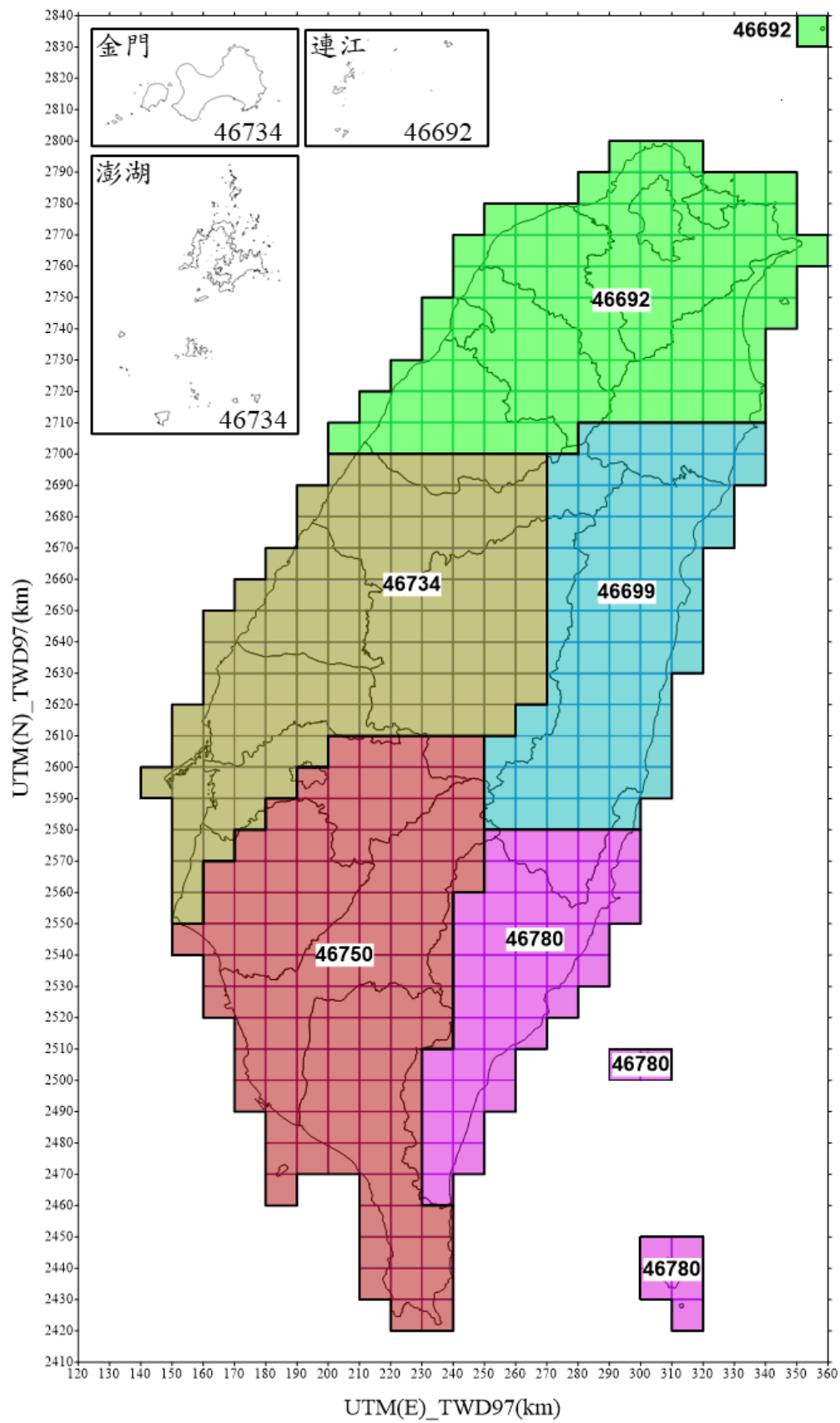


圖 1.2.1-3 本計劃各探空測站所代表之有效區域

1.2.2 原始氣象資料短缺之處理原則

一、地面氣象資料短缺之處理原則

本計劃在全台(含外島)共選定 37 站地面氣象測站(1.2.1 節)，但這些測站有時會有部分時數短缺觀測資料，因此本計劃為前述 37 站地面氣象測站各指定一個遞補測站，作為各測站觀測資料短缺時之資料優先遞補來源。另外，各測站的資料短缺項目中以雲量短缺最為嚴重，因此本計劃將台灣本島與離島地區分為 10 區(圖 1.2.2-1)，並在各區域內選定一個具有代表性之區域測站，作為各站測雲量觀測資料短缺時之優先遞補來源測站。本計劃選用各測站遞補測站與各區域代表性測站之結果如表 1.2.2-1 所示，有關遞補測站與區域測站之篩選方法，請詳見「建置 AERMOD 本土化模式及空品模式審驗制度專案工作計畫(一)與(二)」(環保署，2019; 2021)。

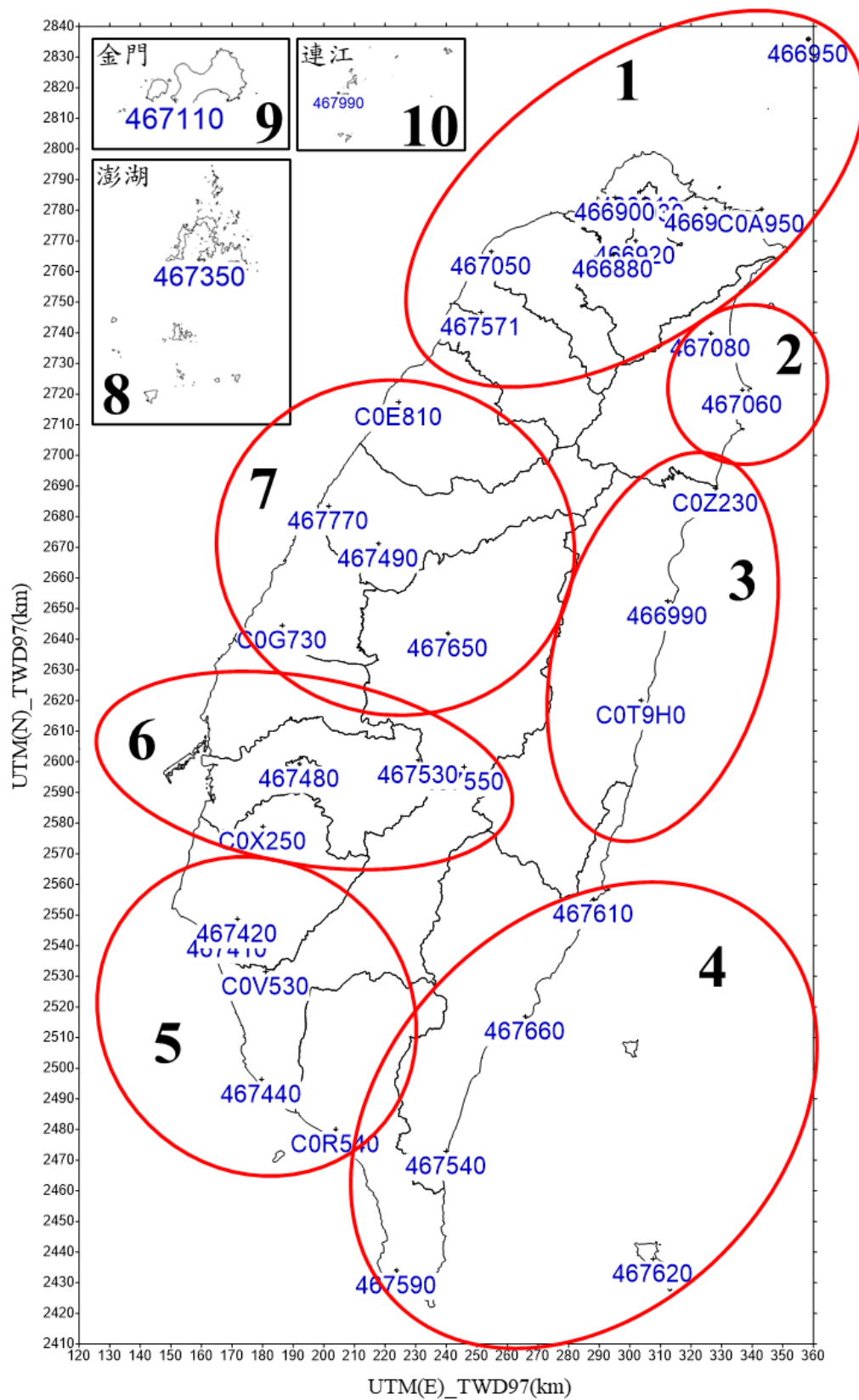


圖 1.2.2-1 本計劃篩選雲量代表性測站之區域劃分

表 1.2.2-1 本計劃各區域內各測站之遞補測站與區域測站一覽表

| 編號 | 區域 | 測站 | 遞補測站 | 區域測站 |
|----|----|----------------------------|--------|----------------|
| 1 | 1 | 鞍部 ANBU (466910) | 466930 | 板橋 (466880) |
| 2 | | 臺北 TAIPEI (466920) | 466880 | |
| 3 | | 竹子湖 ZHUZIHU (466930) | 466910 | |
| 4 | | 板橋 BANQIAO (466880) | 466920 | |
| 5 | | 淡水 TAMSUI (466900) | 466910 | |
| 6 | | 基隆 KEELUNG (466940) | 466880 | |
| 7 | | 彭佳嶼 PENGJIAYU (466950) | 466940 | |
| 8 | | 新屋 XINWU (467050) | 467571 | |
| 9 | | 新竹 HSINCHU (467571) | 467050 | |
| 10 | | 鼻頭角 Bitoujiao (C0A950) | 466940 | |
| 11 | 2 | 蘇澳 SU-AO (467060) | 467080 | 宜蘭 (467080) |
| 12 | | 宜蘭 YILAN (467080) | 467060 | |
| 13 | 3 | 花蓮 HUALIEN (466990) | 467080 | 花蓮 (466990) |
| 14 | | 和平 Heping (C0Z230) | 467060 | |
| 15 | | 加路蘭山 Jialulanshan (C0T9H0) | 466990 | |
| 16 | 4 | 恆春 HENGCHUN (467590) | 467540 | 臺東 (467660) |
| 17 | | 大武 DAWU (467540) | 467590 | |
| 18 | | 成功 CHENG GONG (467610) | 467660 | |
| 19 | | 蘭嶼 LANYU (467620) | 467540 | |
| 20 | | 臺東 TAITUNG (467660) | 467610 | |
| 21 | 5 | 臺南 TAINAN (467410) | 467420 | 臺南 (467410) |
| 22 | | 永康 YONGKANG (467420) | 467410 | |
| 23 | | 高雄 KAOHSIUNG (467440) | 467410 | |
| 24 | | 阿蓮 Alian (C0V530) | 467410 | |
| 25 | | 佳冬 Jiadong (C0R540) | 467440 | |
| 26 | 6 | 日月潭 SUN MOON LAKE (467650) | 467490 | 嘉義 (467480) |
| 27 | | 嘉義 CHIAYI (467480) | 467410 | |
| 28 | | 阿里山 ALISHAN (467530) | 467480 | |
| 29 | | 新營 Xinying (C0X250) | 467480 | |
| 30 | 7 | 臺中 TAICHUNG (467490) | 467770 | 臺中 (467490) |
| 31 | | 梧棲 WUQI (467770) | 467490 | |
| 32 | | 玉山 YUSHAN (467550) | 467530 | |
| 33 | | 二林 Erlin (C0G730) | 467490 | |
| 34 | | 西湖 Xihu (C0E810) | 467571 | |
| 35 | 8 | 澎湖 PENGHU (467350) | 467350 | 澎湖(467350) |
| 36 | 9 | 金門 KINMEN (467110) | 467110 | 金門(467110) |
| 37 | 10 | 馬祖 MATSU (467990) | 467990 | 馬祖(467990) |

(一) 雲量資料短缺遞補原則

雲量資料短缺時查核時以日為單位，依以下程序處理：

- (1) 各測站夜間出現連續無雲量觀測時段時，每日凌晨至上午第一筆(例如 08 時)觀測前之缺失資料，以第一筆觀測資料遞補；每日最後一筆(例如 20 時)觀測後至午夜止前之缺失資料，以最後一筆觀測資料遞補。
- (2) 各測站之有效小時觀測值不進行任何處理。
- (3) 各測站出現連續缺失資料時段小於等於 3 小時情況時，以各測站缺失時段前後有效資料進行線性內插遞補。
- (4) 各測站出現連續缺失資料時段大於等於 4 小時以上時，以遞補測站資料進行遞補。
- (5) 承(4)後，仍出現連續缺失資料時段時小於等於 3 小時情況時，以各測站缺失時段前後有效資料進行線性內插遞補。
- (6) 承(4)後，仍出現連續缺失資料時段大於等於 4 小時以上時，若各測站非屬於區域測站，則以其區域測站資料遞補，若屬於區域測站，則以其自身季平均資料遞補。
- (7) 為確保各測站每日清晨與夜間雲量多具有能連續變化之特性，除每年第一日(1/1)第一筆觀測前時段與每年最後一日(12/31)最後一筆觀測後時段外，其餘各日最後一筆觀測後至隔日第一筆觀測前期間無觀測時段之遞補資料，再以各測站該夜間遞補資料前後有效觀測資料進行線性內插後取代之。

(二) 風速風向資料遞補前處理

- (1) 依照中央氣象局之風速計資料顯示方式小於等於 0.2 之風速為靜風(無代表性)風向為 0。靜風非無效數據也會納入季平均數據統計，若小於等於 0.2 m/s 保持原來計算之數據不進行靜風原則處理。
- (2) 風速風向先經轉換成向量 UUVV 方量後才進行資料處理。
- (3) 若在某小時內風速或風向資料二者其中一個為錯誤值時，則該小時之風速與風向皆為以無效值處理。
- (4) 風向與風向之季平均計算方式為各時段之風向拆分為 36 方位後以出

現機率最高之方位作為代表；風速為各季所對應各時段所有風向之平均。

(5) 局屬測站原始資料為 36 方位風向；而自動測站為 360 方位風向。為保持原始資料內容方面檢核，在準備 AERMOD 模式模擬所需各項氣象參數之最後程序才進行局屬測站風向之隨機處理。

(6) 當各測站使用到遞補測站風速或風向資料時，將遞補測站風速計高度修正為該測站之高度，並重新計算風速與風向。

(7) 風速風向資料短缺經以上處理後，比照其他測項進行缺失資料遞補。

(三) 雨量資料遞補前處理原則：

雨量資料有“T”、“&”符號時將雨量值設為 0；“/”符號為無效值；其餘數據比照其他測項進行缺失資料遞補。

(四) 其他測項資料處理原則：

除雲量以外其餘測項資料缺失時之處理原則如下：

(1) 各測站之有效小時觀測值不進行任何處理。

(2) 各測站出現連續缺失資料時段小於等於 3 小時情況時，以各測站缺失時段前後有效資料進行線性內插遞補。

(3) 各測站出現連續缺失資料時段大於等於 4 小時以上時，以遞補測站資料進行遞補。

(4) 承(3)後，仍出現連續缺失資料時段時小於等於 3 小時情況時，以各測站缺失時段前後有效資料進行線性內插遞補。

(5) 承(3)後，仍出現連續缺失資料時段大於等於 4 小時以上時，以各測站季平均資料遞補。

(6) 若各測站第一個小時(010101)與最後一個小時(123124)有缺失值時，以各測站季平均資料遞補。

二、探空氣象資料短缺處理原則

探空資料短缺時依以下程序處理：

(1) 計算各探空站指定年份內（目前為 2018-2020）之各項參數季平均值，包括

46692(台北)、46699(花蓮)、46734(馬公)、46750(屏東)及 46780(綠島)等五個探空站。

(2) 各測站每日出現探空資料短缺時，以各探空站之季平均資料進行遞補。

1.2.3 地表參數之建立方法

製作 AERMOD 所需之氣象參數時，除了一般的地面與探空觀測資料外，尚須輸入三項地表參數，分別為地表粗糙度、鮑溫比與反照率。本計劃參考 AERSURFACE(USEPA, 2013) 之使用指引，將台灣本島、金門、澎湖與連江等地區，共被劃分為 439 個模式模擬氣象區域(以下簡稱氣象區域)，各氣象區域之分布如圖 1.2.3-1 所示。台灣本島每 10 km x 10 km 劃定一個氣象區域，但金門、澎湖與連江等三地區，因為陸地面積較小，因此僅各劃定為一個氣象區域。各氣象區域地表參數之建立方法，請詳見「建置 AERMOD 本土化模式及空品模式審驗制度專案工作計畫(一)與(二)」(環保署，2019; 2021)，簡單說明於下。

首先蒐集我國內政部國土測繪中心所彙整之台灣本島、金門、澎湖與連江地區土地利用型態之調查結果，此資料以圖幅方式表示及配合 shapefile 檔方式呈現。為了資料運用上的方便，將其進行數值網格化，建立全台一平方公里解析度、模擬所需之土地使用型態資料庫。再依所建置之網格化土地使用資料庫，結合土地使用型態之地表特徵參數對照表(AERMET、USGS 24)，建立本土一平方公里解析度網格化之地表特徵參數資料庫。再取每 10 km x 10 km 範圍內各 1 km x 1 km 地表特徵參數，先進行平滑化處理後再取其平均值，最後建立每 10 km x 10 km 之代表性地表特徵參數。台灣本島各氣象區域之地表參數圖 1.2.3-2、圖 1.2.3-3、圖 1.2.3-4 所示。

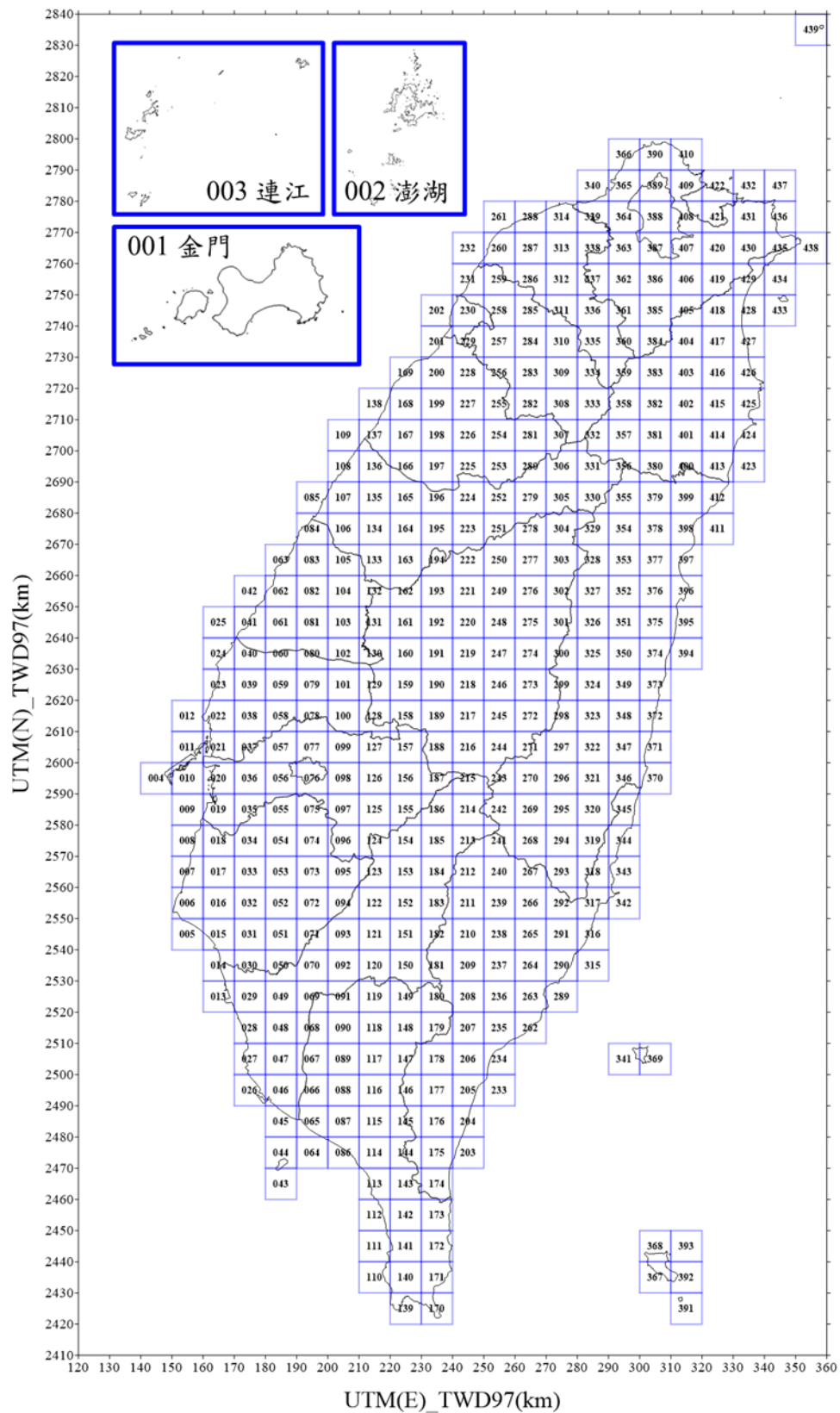


圖 1.2.3-1 台灣本島、金門、澎湖與連江等地區模式模擬氣象區域之劃分

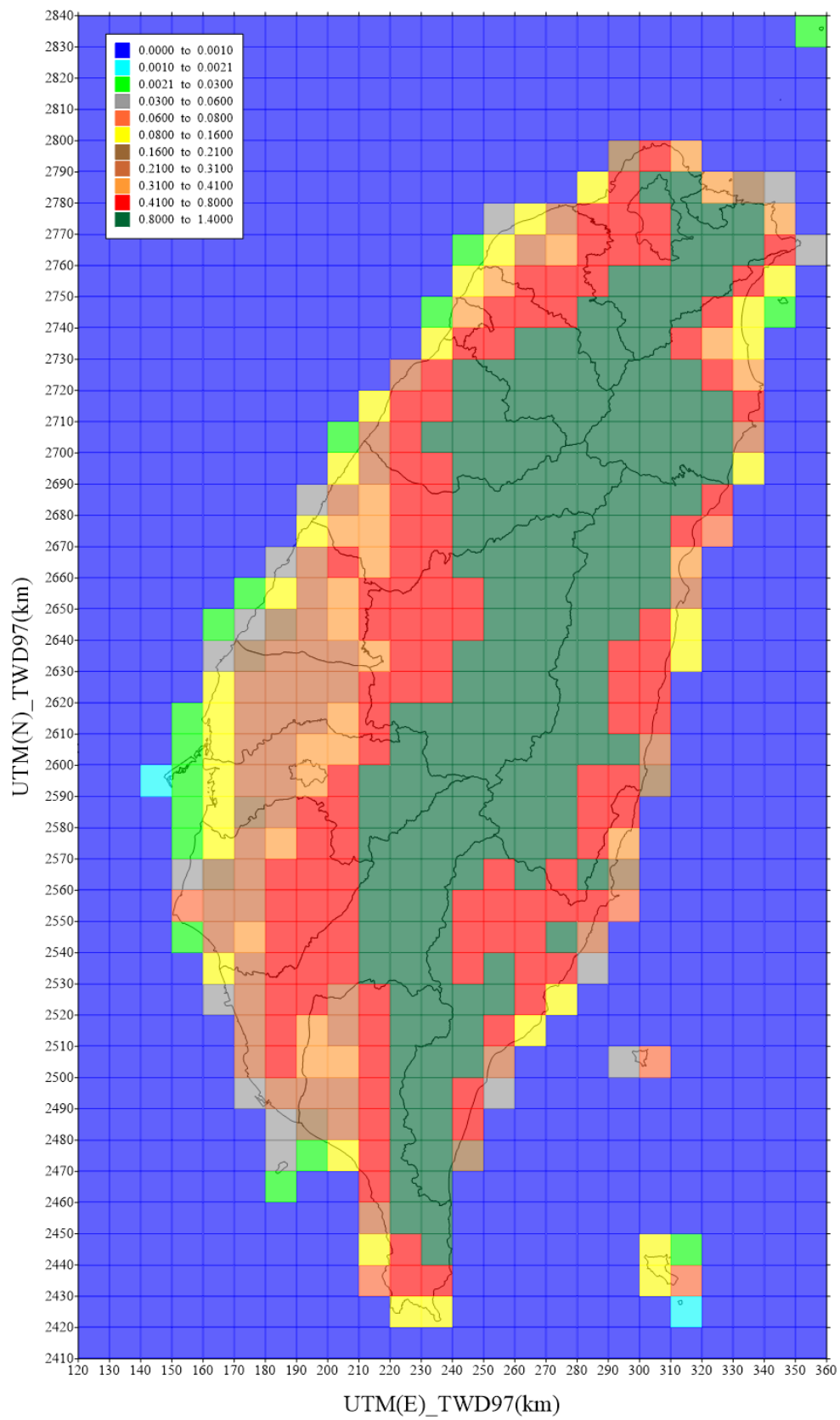


圖 1.2.3-2 台灣本島各氣象區域之地表粗糙度(m)

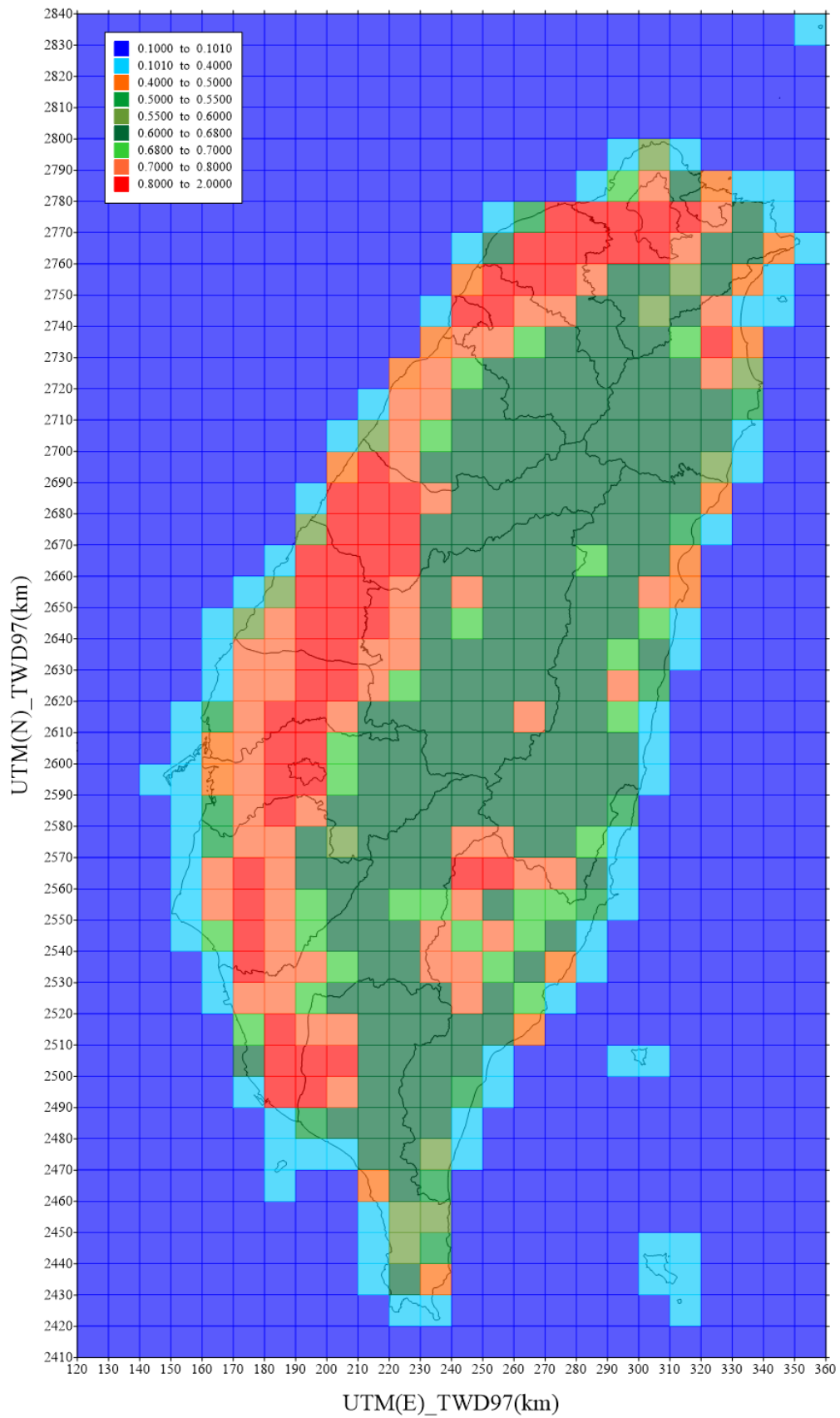


圖 1.2.3-3 台灣本島各氣象區域之鮑溫比

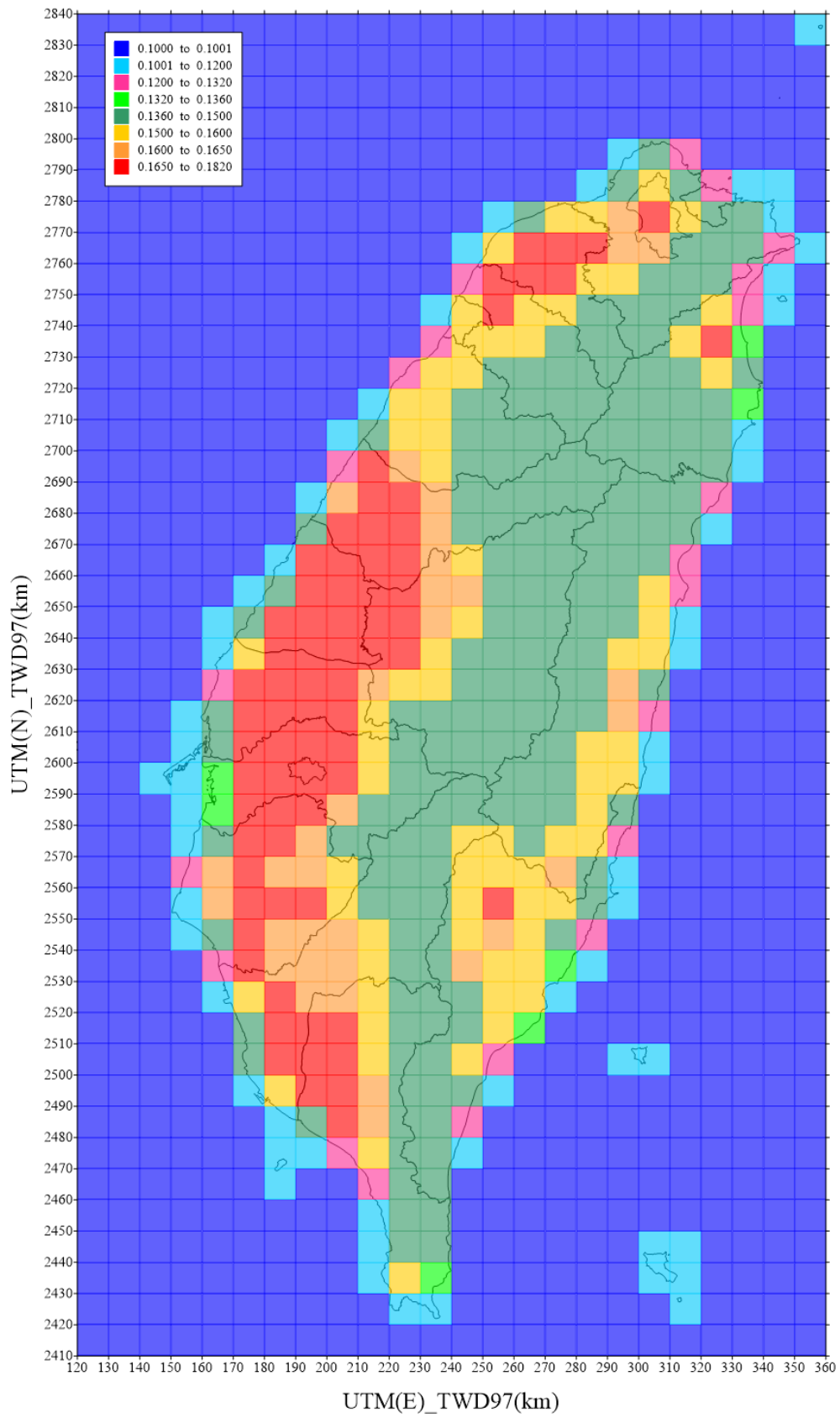


圖 1.2.3-4 台灣本島各氣象區域之地表反照率

1.2.4 各項微氣象參數之計算公式

理論上準備 AERMOD 模式模擬所需之各項氣象參數，可經由執行 AERMET 氣象前處理程式完成(USEPA, 2018b)，但是 AERMET 係針對美國氣象監測項目與格式所訂身做之氣象前處理程式，並無法直接做為國內之氣象前處理程式，因此本計劃依照 AERMOD 模擬需求之氣象參數，參考 AERMET 計算各氣象參數之理論公式，考量國內可取得之氣象觀測項目，最後產生符合 AERMOD 所需之本土化氣象資料檔。本計劃準備 AERMOD 模式模擬所需之各項氣象參數方法與結果查核驗證，請詳見「建置 AERMOD 本土化模式及空品模式審驗制度專案工作計畫(一)與(二)」(環保署，2019; 2021)，各項氣象參數之計算原理與公式，簡單說明如下：

(一) 對流邊界層(CBL)內的能量平衡方程式

熱能與動能之通量會促使大氣邊界層的發展，為了明確知道邊界層的發展，須先針對地表可感通量(H)進行推估，此項參數與淨輻射量(R_n)暨鮑溫比(B_0)有關。本案選用之對流邊界層(CBL)內的能量平衡方程式如下：

$$H + \lambda E + G = R_n \quad (17)$$

其中，H 為可感熱通量(W/m^2)、 λE 為潛熱通量(W/m^2)、G 為土壤熱通量(W/m^2)、 R_n 為淨輻射量(W/m^2)。為求得 H 的估計值，須分別對於土壤及潛熱通量進行參數化； $G = (1 - 0.1)R_n$ 、 $\lambda E = H/B_0$ ，後續代入(17)可感通量方程式變為：

$$H = \frac{0.9R_n}{(1 + \frac{1}{B_0})} \quad (18)$$

(二) 淨輻射量之計算

如果沒有 R_n 的實際測量值，則根據 Holtslag and van Ulden(1983)所推導之方法，依日照和地面的熱輻射平衡估算淨輻射值。其淨輻射量在日間為正，夜間為負，計算能量多寡受當地季節、緯度、地表反射參數、雲量及太陽角度等因素影響，其推估公式如下：

$$R_n = \frac{(1-A)R + c_1 T^6 - \sigma T^4 + c_2 N}{1 + c_3} \quad (19)$$

$$R = (a_1 \sin \varphi + a_2)(1 + b_1 N^{b_2}) \quad (20)$$

其中 A 為隨太陽角度不同所修正的反照率、T 為地表觀測溫度、 σ 為波茲曼常數($5.67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$)、N 為雲量(10 分量)、 φ 為太陽高角度(deg)。淨輻射相關經驗常數之估算式如下(Holtslag and van Ulden, 1983)：

$$c_1=5.31 \times 10^{-13}(\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-6}) ; c_2=60(\text{W/m}^2) ; c_3=0.12$$

$$a_1=990(\text{W/m}^2) ; a_2=-30(\text{W/m}^2) ; b_1=-0.75 ; b_2=3.4$$

(三) 反照率之修正

物體表面之反射輻射能量與太陽總輻射量之比值稱為反照率，除了物體本身顏色及質量影響反照率外，則太陽照射物體之角度也會影響物體所反射的輻射能量。因此，不同太陽角度對於反照率之修正，可用下列公式修正之：

$$A=A_0+(1-A_0) \times e^{(-0.1 \times \varphi - 0.5 \times (1-A_0)^2)} \quad (21)$$

其中 A：隨太陽角度不同所修正的反照率、A₀：反照率。

(四) 對流邊界層(CBL)與穩定邊界層(SBL)轉換

大氣從對流狀態轉變為穩定狀態時，熱通量從正值變為負值。因此，在轉換點熱通量必須消失，即淨輻射量等於零。對流邊界層 CBL 和穩定邊界層 SBL 的轉變時之臨界太陽高度角(φ)，可用下式估算：

$$\varphi = \sin^{-1}(\sin \delta \times \sin \Phi + \cos \delta \times \cos \Phi \times \cos \omega) \quad (22)$$

其中磁偏角(solar declination, δ)也稱赤緯角，是地球繞太陽公轉的平面與地球自轉的平面並非平行所產生的角度，而在全年之中每日太陽和地球之間與天體圓赤道所形成的夾角不為相同，角度變化會在+23.45 到-23.45 之間，其推估公式為：

$$\delta = 23.45^\circ \sin[360 \times (284+n)/365] \quad (23)$$

一般來說太陽每小時大約由東往西移動 $15^\circ = 360^\circ/24$ ，故時角(time angle, ω)的計算公式為：

$$\omega = 15^\circ(12 - \text{LST}) \quad (24)$$

其中 Φ 為測站緯度、n 為日曆天、LST 為此區域之真太陽時。

因此可由第(22)式 φ 定義 CBL 和 SBL(白天到夜晚)之間的過渡轉換時間點。平均而言，對於晴天(少雲)狀態當 φ 達到約 13° 時，會發生大氣從穩定狀態轉為對流狀態；則陰天(多雲)時 φ 約為 23° (Holtslag and van Ulden, 1983)。

(五) 表面摩擦速度(u^*)與莫寧荷夫尺度(L)

在 CBL 之中，AERMET 計算表面摩擦速度(u^*)和莫寧荷夫尺度(L)相當

重要，由於表面摩擦速度與莫寧荷夫尺度二者之間互為密切係數，因此利用類似於 CTDMPPLUS 模式中所使用的迭代法求取參數(Perry, 1992)。在 AERMOD 模式中一開始假設大氣為中性條件(即 $L=\infty$)藉由此動作來初始化 u^* 與 L ，二者經由迭代計算可達到收斂(連續迭代之間的變化小於 1%)，作為 u^* 與 L 之推估結果。表面摩擦速度(u^*)公式由 Panofsky and Dutton(1984)所提出：

$$u^* = \frac{k \times u_{\text{ref}}}{\left[\ln\left(\frac{z_{\text{ref}}}{z_0}\right) - \Psi_m\left(\frac{z_{\text{ref}}}{L}\right) + \Psi_m\left(\frac{z_0}{L}\right) \right]} \quad (25)$$

其中 k 為馮卡曼常數(0.4)、 u_{ref} 為地面風速(氣象站)， z_{ref} 為地面風速測量高度(風速計高度)， z_0 為地表粗糙度。方程式(25)中的穩定項(Ψ_m)計算如下：

$$\Psi_m\left\{\frac{z_{\text{ref}}}{L}\right\} = 2 \ln\left(\frac{1+\mu}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+\mu^2}{2}\right) - 2\tan^{-1}(\mu) + \frac{\pi}{2} \quad (26)$$

$$\Psi_m\left\{\frac{z_0}{L}\right\} = 2 \ln\left(\frac{1+\mu_0}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+\mu_0^2}{2}\right) - 2\tan^{-1}(\mu_0) + \frac{\pi}{2} \quad (27)$$

$$\text{其中 } \mu = \left(1 - \frac{16z_{\text{ref}}}{L}\right)^{\frac{1}{4}}, \mu_0 = \left(1 - \frac{16z_0}{L}\right)^{\frac{1}{4}}。$$

迭代的第一步是求解方程式。因此，對於第(25)式 u^* 一開始假設 $\Psi_m = 0$ (中性極限)並輸入風速，求得初步 u^* 結果。後續，代入第(28)式中推得 L 值，其公式定義如下(Wyngaard, 1988)：

$$L = \frac{-\rho c_p T_{\text{ref}} u^{*3}}{kgH} \quad (28)$$

其中 g 為重力加速度(9.8 ms^{-2})、 c_p 為恆定壓力下空氣的比熱($1004 \text{ Jg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)、 ρ 為空氣密度(1.29 kgm^{-3})、 T_{ref} 為地表環境溫度(K)。後續利用迭代法重新計算 u^* 與 L ，分別回代第(25)、(26)、(27)及(28)式，直到 L 值變化小於 1% 為止。

(六) 對流速率尺度(w^*)

AERMOD 利用對流速率來表示 CBL 中不穩定氣流之對流部分。實場觀測、實驗室試驗及數值模擬研究發表顯示，CBL 中劇烈的紊流與對流速率尺度(w^*)成正比影響關係(Wyngaard, 1988)。因此，為了解 CBL 中不穩定的氣流，則需要估算 w^* 值。AERMET 根據此定義計算對流速率尺度(w^*)：

$$w^* = \left(\frac{gH_{Z_{ic}}}{\rho c_p T_{ref}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (29)$$

其中 Z_{ic} 是對流混合高度。

(七) 對流混合層高度(Z_{ic})

Wei and Brower(1983)修改 Carson(1973)所提出的簡單一維能量平衡計算 Z_{ic} 的模式。該模式使用清晨的探空位溫(日出之前)與地表熱通量來推算對流邊界層隨時間之發展：

$$z_{ic}\theta\{z_{ic}\} - \int_0^{z_{ic}} \theta\{z\}dz = (1 + 2A) \int_0^t \frac{H\{t'\}}{\rho c_p} dt' \quad (30)$$

其中， θ 為位溫、 A 由 Deardorff(1980)提出參考經驗值設為 0.2、 t 為日出後的小時。Wei and Brower 使用此方法在預測與觀測 Z_{ic} 之間達到很好的相關性。

(八) 垂直溫度梯度(VPTG)

混合層高度以上之位溫變化傾率，混合層高度取用機械或熱力紊流二者較高值作為估算，由下列公式求得位溫變化傾率(VPTG)：

$$\frac{PT_{DELZ} - PT_{Z_i}}{Z_{DELZ} - Z_i} \quad (31)$$

其中， PT_{DELZ} 為高於混合層高度最多不超過 500 公尺之位溫； PT_{Z_i} 為混合層高度之位溫； Z_{DELZ} 為混合層以上之高度； Z_i 為混合層高度。

(九) 穩定邊界層(SBL)中的地表摩擦速度(u^*)與莫寧荷夫尺度(L)

Van Ulden and Holtslag (1985)所發現 u^* 與 θ^* 的相關性，提出若有代表性的雲量觀測結果，那 SBL 中的溫度尺度可以使用以下經驗公式表示：

$$\theta^* = 0.09(1 - 0.5n^2) \quad (32)$$

求取地表摩擦速度時，以 $\beta_m = 5$ 且 z_{ref} 是風速測量高度、Garratt(1992)將阻力係數(C_D)定義為 $k/\ln(z_{ref}/z_0)$ ，代入下式：

$$\frac{u}{u^*} = \frac{1}{C_D} + \frac{\beta_m z_{ref} g \theta^*}{T_{ref} u^{*2}} \quad (33)$$

上述式，等號兩邊同乘 C_D 與 u^{*2} 重新排列，可得二次方程式：

$$u^{*2} - C_D u u^* + C_D u_0^2 = 0 \quad (34)$$

其中， $u_0^2 = \beta_m z_{ref} g \theta^* / T_{ref}$ 。HPDM(Hanna and Chang, 1988) 與 CTDMPPLUS(Perry, 1992)模式由下式求解地表摩擦速度：

$$u^* = \frac{C_D u_{ref}}{2} \left[1 + \left(1 - \left(\frac{2 u_0}{C_D u_{ref}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (35)$$

只有當風速大於等於臨界值 $u_{cr} = [4 \beta_m z_{ref} g \theta^* / T_{ref}]^{1/2}$ 時，(35)式才能求解。則對於小於臨界值的風速，使用以下線性方程式對 u^* 和 θ^* 進行參數化：

$$u^* = u^* \{ u = u_{cr} \} \left(\frac{u}{u_{cr}} \right) \quad \text{for } u < u_{cr}$$

$$\theta^* = \theta^* \left(\frac{u}{u_{cr}} \right) \quad \text{for } u < u_{cr}$$

由於 L 在夜間 SBL 中變化不大，可以 Venkatram(1980)所提出之公式計算：

$$L = - \frac{\rho \times C_p \times T \times u^{*3}}{k \times g \times H} \quad (36)$$

(十) 穩定邊界層(SBL)中的可感熱通量(H)

在穩定條件下，可由 u^* 與 θ^* 推算地表熱通量：

$$H = -\rho c_p u^* \theta^* \quad (37)$$

(十一) 機械混合層高度(z_{im})

在穩定大氣環境中，機械紊流控制了 PBL 內的發展。AERMET 在對流條件下推估 PBL 的高度時，是以對流混合層高度(z_{ic})或是機械混合層高度(z_{im})二者之間最大值作為選用，可避免清晨時段 PBL 的高度不會被低估。若無實際觀測值可使用時，Venkatram(1980)建議機械混合層高度推估公式如下：

$$z_{im} = 2400 u^{* \frac{3}{2}} \quad (38)$$

1.2.5 本土化 AERMOD 氣象資料庫

執行 AERMOD 所需之氣象資料，包括地面氣象資料檔(.SFC)及高空氣象資料檔(.PFL)。表 1.2.5-1 與表 1.2.5-2 為 AERMOD 模擬所需之地面氣象資料項目與格式，表 1.2.5-3 為 AERMOD 模擬所需之高空氣象資料項目與格式。台灣本島、金門、澎湖與連江等 439 個模式模擬氣象區域之最新地面氣象資料檔(.SFC)及高空氣

象資料檔(.PFL)可於模式支援中心網站下載(<https://aqmc.epa.gov.tw>)。使用者須依照環保署公告之「高斯擴散模式 AERMOD 使用規範」選用正確之氣象區域與對應之氣象資料檔。

表 1.2.5-1 AERMOD 模擬所需之地面氣象資料項目與格式(表頭第一行)(.SFC)

| 項目 | 變數 | 名稱 | 單位 | 格式(Fortran) |
|----|----------------------|--------------------------------|----|-------------|
| 1 | latitude | 氣象站經度 | - | I2 |
| 2 | longitude | 氣象站緯度 | - | I3 |
| 3 | UA identifier | 探空測站代號 | - | I3 |
| 4 | SF identifier | 地面測站代號 | - | I3 |
| 5 | OS identifier | 測站識別碼 | - | F7.1 |
| 6 | Version date | AERMET 模式版本 (對應於 AERMOD 版本) | - | I2 |
| 7 | ADJ_U* | 處理風速低時選用參數 | - | F6.0 |
| 8 | CCVR_Sub TEMP_Sub | 雲量或溫度內插選項 | - | F8.2 |

資料來源：User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET) P4-70

表 1.2.5-2 AERMOD 模擬所需之地面氣象資料項目與格式(第二行以後)(.SFC)

| 項目 | 變數 | 名稱 | 單位 | 格式(Fortran) |
|----|-------|---------------|------------------|-------------|
| 1 | Year | 年 | - | I2 |
| 2 | Month | 月 | - | I3 |
| 3 | Day | 日 | - | I3 |
| 4 | J_day | 日曆天 | - | I4 |
| 5 | Hour | 時 | - | I3 |
| 6 | H | 熱感度通量 | W/m ² | F7.1 |
| 7 | u* | 表面摩擦速度 | m/s | F7.3 |
| 8 | w* | 對流速率 | m/s | F7.3 |
| 9 | VPTG | PBL 以上的垂直溫度梯度 | K/m | F7.3 |
| 10 | Zic | 熱力紊流混合層 | m | F6.0 |
| 11 | Zim | 機械紊流混合層 | m | F6.0 |

表 1.2.5-2 AERMOD 模擬所需之地面氣象資料項目與格式(第二行以後)(.SFC)(續 1)

| 項目 | 變數 | 名稱 | 單位 | 格式(Fortran) |
|----|------------------|--------|-----------|-------------|
| 12 | L | 莫寧荷夫尺度 | m | F9.1 |
| 13 | Z ₀ | 表面粗糙度 | m | F8.4 |
| 14 | B ₀ | 鮑溫比 | - | F7.2 |
| 15 | r (ψ) | 反照率 | - | F7.2 |
| 16 | W _s | 風速 | m/s | F8.2 |
| 17 | W _d | 風向 | 360degree | F6.0 |
| 18 | Z _{ref} | 測站離地高度 | m | F7.1 |
| 19 | temp | 溫度 | K | F7.1 |
| 20 | ztemp | 溫度計高度 | m | F7.1 |
| 21 | ipcode | 降雨型態 | - | I6 |
| 22 | pamt | 降雨量 | mm/hr | F7.2 |
| 23 | rh | 相對溼度 | % | F7.0 |
| 24 | pres | 測站壓力 | mb | F7.0 |
| 25 | ccvr | 雲量 | tenths | I6 |
| 26 | asos | 風速調整標誌 | - | A8 |
| 27 | WDADJ | 風速資料來源 | - | A8 |

資料來源：User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET) P4-68.

表 1.2.5-3 AERMOD 模擬所需之高空氣象資料項目與格式(.PFL)

| 項目 | 變數 | 名稱 | 單位 | 格式(Fortran) |
|----|--------|--------------------------|-----------|-------------|
| 1 | Year | 年 | - | I2 |
| 2 | Month | 月 | - | I3 |
| 3 | Day | 日 | - | I3 |
| 4 | Hour | 時 | - | I3 |
| 5 | Height | 風速計高度 | m | F7.1 |
| 6 | Top | 如果這筆探空資料為最後一筆就是 1，不是則是 0 | - | I2 |
| 7 | WDnn | 風向 | 360degree | F6.0 |
| 8 | WSnn | 風速 | m/s | F8.2 |
| 9 | TTnn | 溫度 | °C | F8.1 |
| 10 | SAnn | 風速計偏移角(右) | 360degree | F7.1 |
| 11 | SWnn | 風速計偏移角(左) | m/s | F8.2 |

資料來源：User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET) P4-70

1.3 AERMOD 地形輸入資料之處理

1.3.1 地形資料之來源與修定

執行 AERMOD 模式所需之地形資料包括地程高度與尺丘高度。AERMOD 模式之地形前處理程式為 AERMAP (USEPA, 2019c)，此地形前處理程式主要提供尺丘高度(hill height scale)，以利 AERMOD 模式進行複雜地形之污染物擴散濃度計算。但 AERMAP 所需之地形資料格式僅限於美國地質調查局(United States Geological Survey, USGS)所提供的 1 度與 7.5 分之數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)資料與美國國家高程資料庫(National Elevation Dataset, NED)之 GeoTIFF 格式，其二種格式與我國內政部所建置的 20 公尺網格數值地形模型資料差異甚大，無法直接使用。有關本土化地程高度與尺丘高度之建立方法，請詳見「建置 AERMOD 本土化模式及空品模式審驗制度專案工作計畫(一)與(二)」(環保署，2019; 2021)，簡單說明於下：

(一) 本土地形資料蒐集作業

首先蒐集政府資料開放平台所 2019 內政部地政司所提供之 20 公尺網格數值地形模型資料(<https://data.gov.tw/dataset/103884>)，這些資料包含台灣本島、金門與澎湖地區之網格地形高程資料，其使用之座標採用內政部 1997 台灣大地基準系統(Taiwan Datum 1997)，本島各縣市之基本圖幅資料為壓縮檔。各檔解壓縮後，資料包含.XML 檔(資料資訊檔)、.GRD 檔(為圖幅網格資料)、.HRD 檔(為圖幅詮釋資料)、.CSV 檔(紀錄該縣市所有的圖幅編號)。但離島地區所提供之資料格式為不分幅文件圖像檔，資料包含.TFW 檔(圖幅說明檔)、.TIFF 檔(標籤圖檔)。另外，在蒐集政府資料開放平台地形模型資料時，發現並無連江縣區域之資料，因此本計劃自行規劃建立連江地區之地形數值資料庫。

(二) 地形數值模型資料彙整

將 2019 年全臺灣及部分離島 20 公尺網格 DTM 數值資料蒐集彙整，並將各縣市圖幅合併成一個地形檔，並將解析度調整為 100×100 m。其中在 2019 年地形資料缺少樂山管制區、綠島與蘭與等區域地形高程資料，在檢核的過程中發現 2016 有提供完整的地形資料，因此將 2019 年苗栗(樂山管制區)、臺東(綠島、蘭嶼)圖幅資料置換成 2016 資料將資料進行補足作業。此外，澎湖與金門僅提供.TIFF 檔(標籤圖檔)格式並不分幅，其.TIFF 為圖檔格式與本島所提供的數值格式並不相同，因此自行進行數值格式轉換，得解析度為 100×100 m 之地形資料。本計劃統整後之台灣本島、澎湖與金門 100 公尺解析度之地形資料，如圖 1.3.1-1、圖 1.3.1-2 與圖 1.3.1-3 所示。

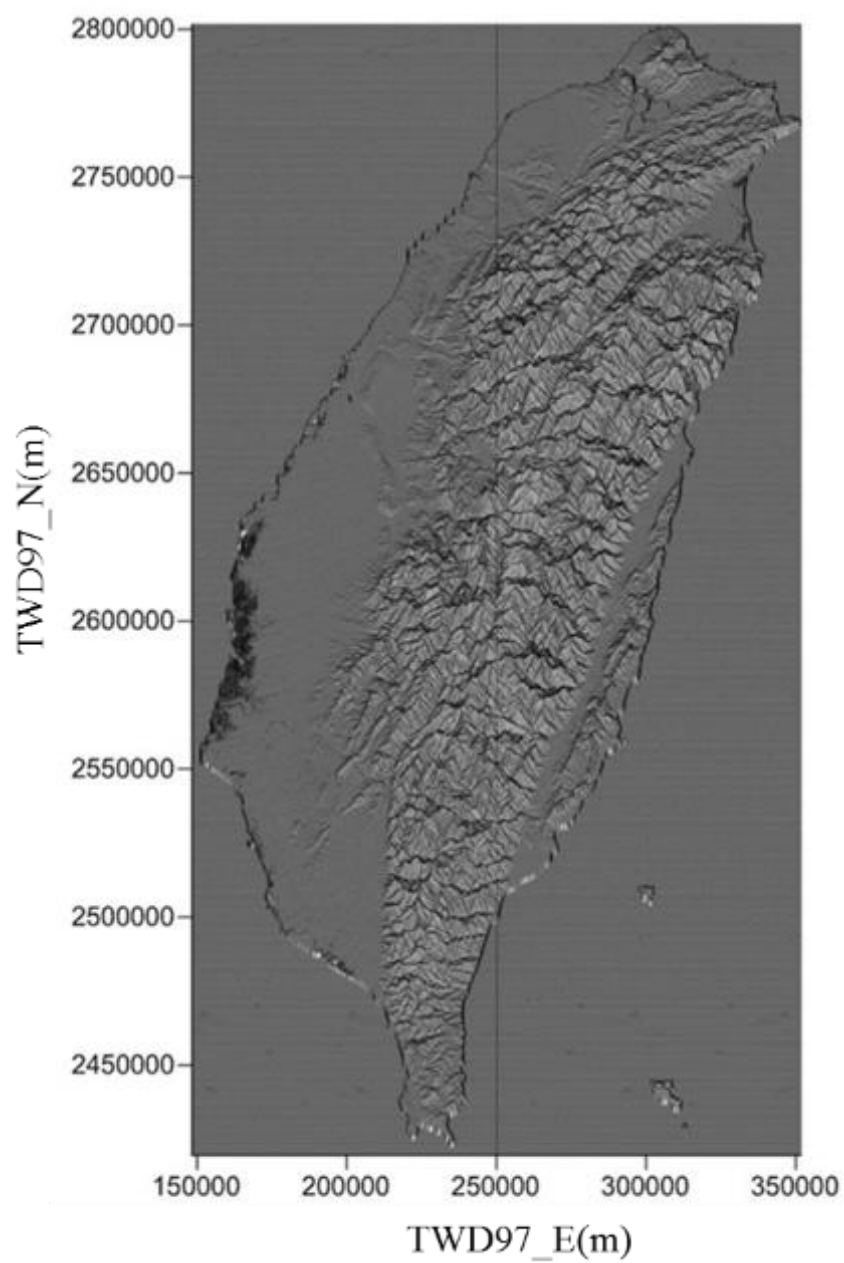


圖 1.3.1-1 本計劃彙整建置之台灣本島 100 × 100 m 解析度地形資料庫

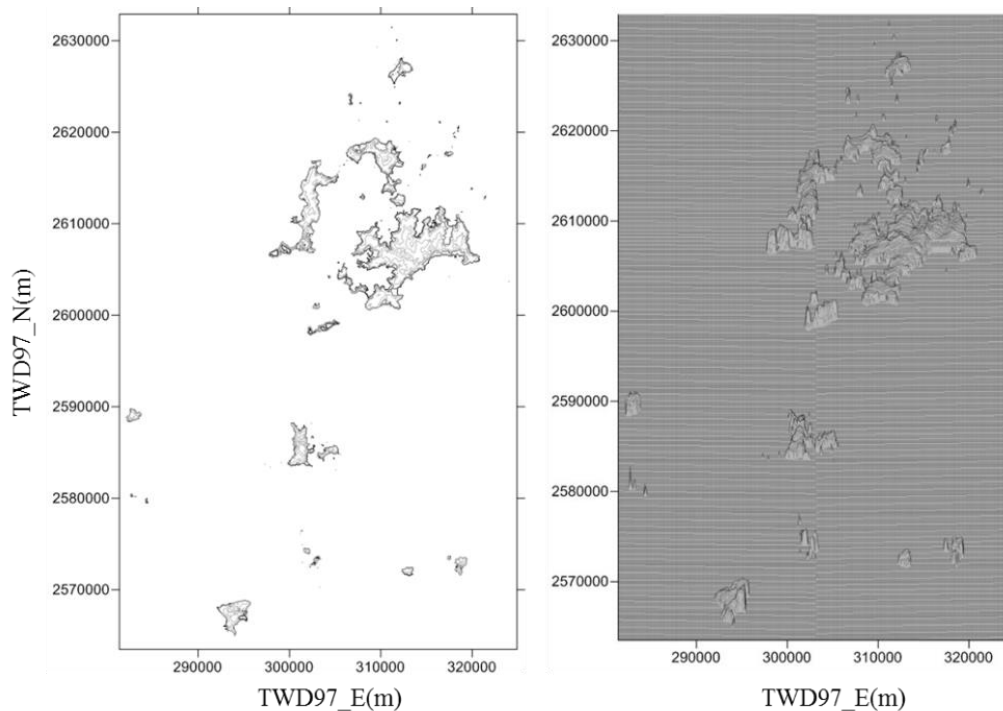


圖 1.3.1-2 本計劃彙整建置之澎湖地區 100×100 m 解析度地形資料庫
(左：等高線圖；右：3D 立體圖)

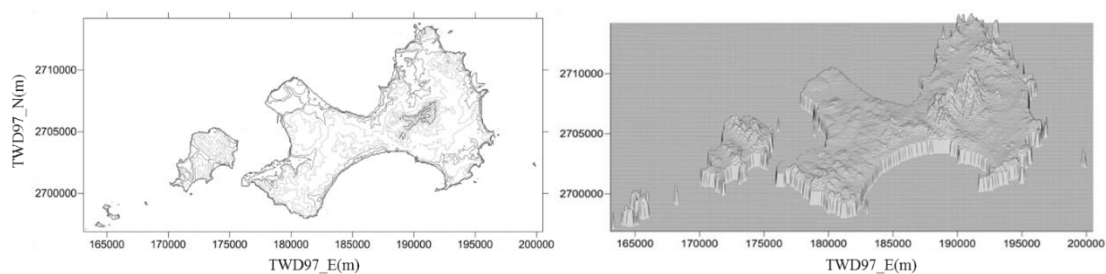


圖 1.3.1-3 本計劃彙整建置之金門地區 100×100 m 解析度地形資料庫
(左：等高線圖；右：3D 立體圖)

(三)建立連江縣地區之地形資料

本計劃連江縣地形資料之建立，係運用由 Google 公司所開發之 Google Earth，此軟體將衛星圖、航空照相和 GIS 資料疊加於虛擬地球表面上，透過標記各 100 公尺網格點之座標(經緯度)，由 Google Earth 取得該點之高程，詳見「建置 AERMOD 本土化模式及空品模式審驗制度專案工作計畫(一)與(二)」(環保署，2019; 2021)。本計劃建立完成之連江縣地形資料包括北竿島地區、南竿島地區、莒光島地區與東引島地區，如圖 1.3.1-4、圖 1.3.1-5、圖 1.3.1-6 及圖 1.3.1-7 所示。

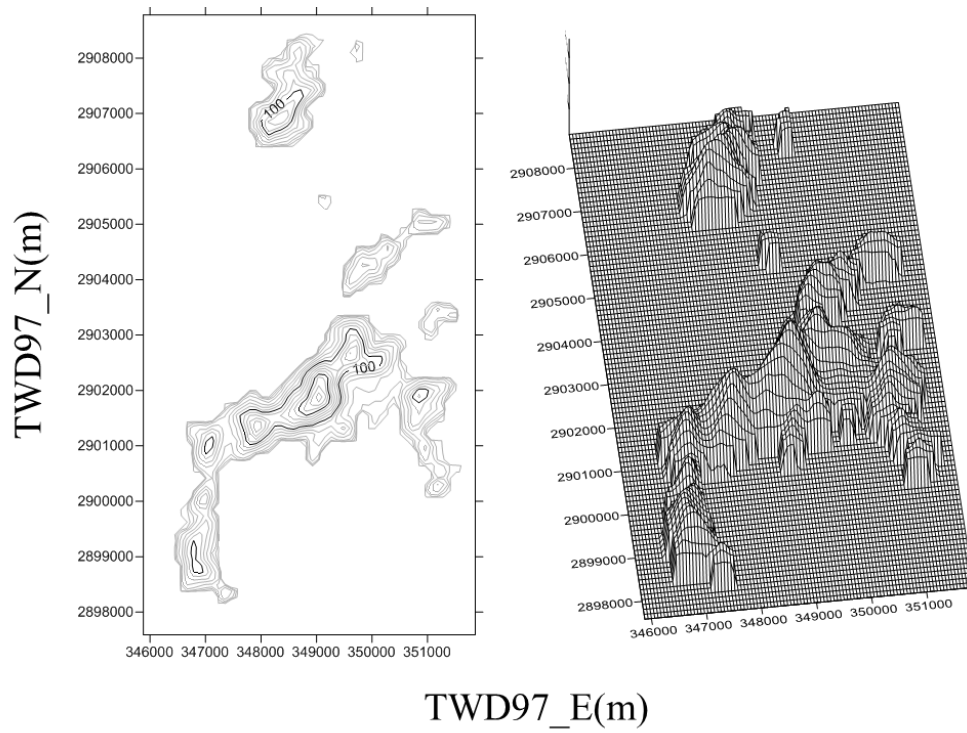


圖 1.3.1-4 本計劃彙整建置之北竿島地區 100×100 m 解析度地形資料庫
(左：等高線圖、右：3D 立體圖)

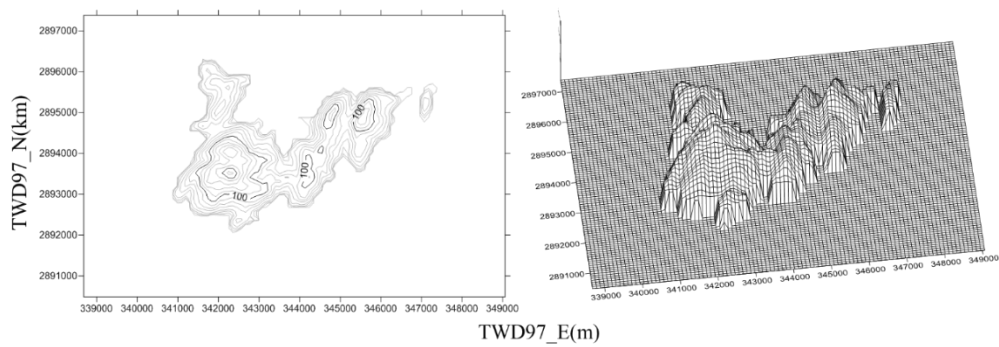


圖 1.3.1-5 本計劃彙整建置之南竿島地區 100×100 m 解析度地形資料庫
(左：等高線圖、右：3D 立體圖)

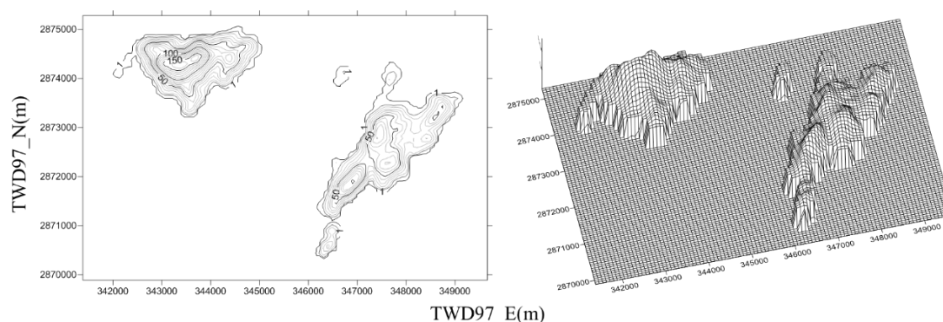


圖 1.3.1-6 本計劃彙整建置之莒光島地區 100×100 m 解析度地形資料庫
(左：等高線圖、右：3D 立體圖)

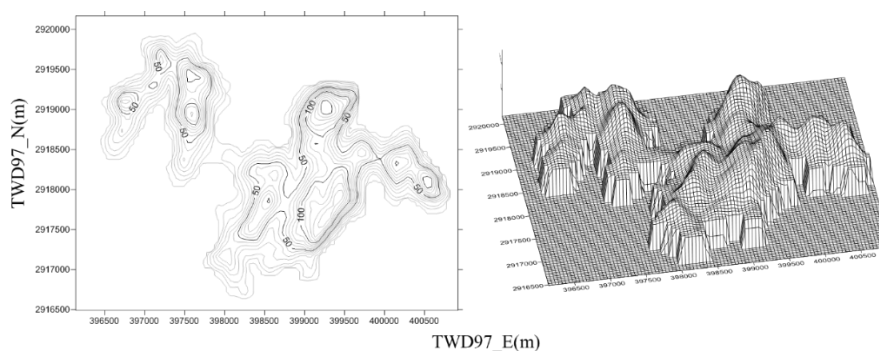


圖 1.3.1-7 本計劃彙整建置之東引島地區 100×100 m 解析度地形資料庫
(左：等高線圖、右：3D 立體圖)

1.3.2 尺丘高度處理方法

AERMOD 空品模式之標準地形前處理程式為 AERMAP (USEPA, 2018c)，但 AERMAP 為係針對美國地質調查局(United States Geological Survey, USGS)資料庫格式所訂身做之地形前處理程式，其程式主要功能在於處理美國本土地形格式轉換及計算尺丘高度(hill height scale)至 AERMOD 可直接讀取之格式，不適用於本土化地形資料，因此參考美國 AERMAP 之地形前處理程式原始碼與 User's Guide for the AERMOD Terrain Preprocessor(AERMAP)(USEPA,2018c) 使用手冊中說明 AERMAP 尺丘高度(hill height scale)計算方式，自行完成本土執行 AERMOD 所需之地表高程與尺丘高度資料。尺丘高度之計算原理如圖 1.3.2-1 所示，其計算步驟如下：

1. 首先將台灣本島、金門、澎湖與連江縣等地區劃分為 439 個地形區域，各地形

區域之劃分範圍與氣象區域完全相同，即台灣本島每 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 劃分為一個地理區域，金門、澎湖與連江縣則僅各劃分為一個地形區域，每個地形區域均提供一個地形資料檔案，內含該區域內 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 解析度之地程高度與尺丘高度。

2. 逐一計算各地形區域內各網格點(受體點)之尺丘高度，假設目標受體點起始尺丘高度值為其地程高度，接續以目標受體點為中心向外逐一搜尋 50 km 範圍內之每個其他受體點(圖 1.3.2-2)，並計算搜尋到之受體點至目標受體點之坡度((其他受體點高程-目標受體點高程)/其他受體點至目標受體點之距離)，若計算所得之坡度大於 10% ，且搜尋到之受體點地形高程大於目標受體點之尺丘高度，則以搜尋到之受體點地形高程取代目標受體點之尺丘高度，直到完成 50 km 範圍內之所有他受體點之尺丘高度計算。

以 50 km 作為目標受體點之搜索範圍是考慮台灣最高山為玉山，其地程高度為 3.952 km ，其影響的範圍若以坡度 10% 估算約為 40 km ($3.952\text{ km}/0.1$)，故以 50 km 作為搜索範圍可以完全確保每個受體點可搜尋其所受影響的高山。本計劃所建置本島每 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 解析度之尺丘高度，如圖 1.3.2-3 所示。

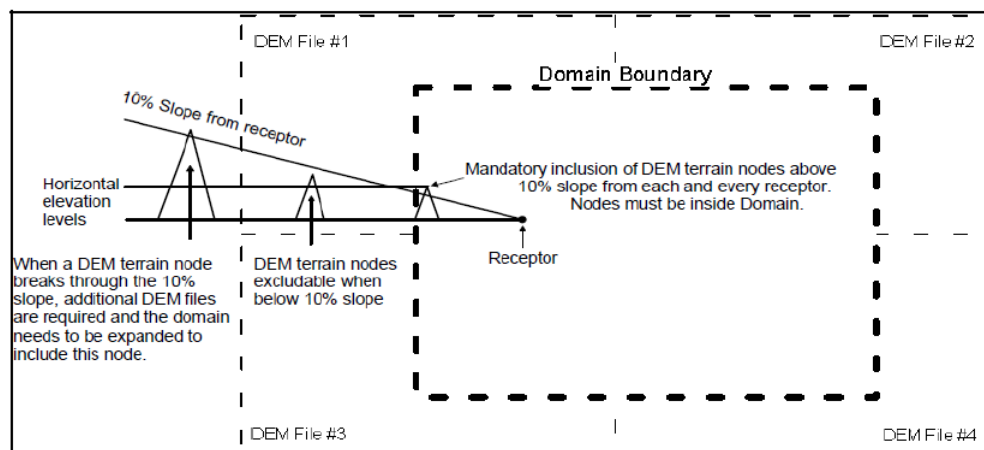


圖 1.3.2-1 AERMAP 尺丘高度計算示意圖

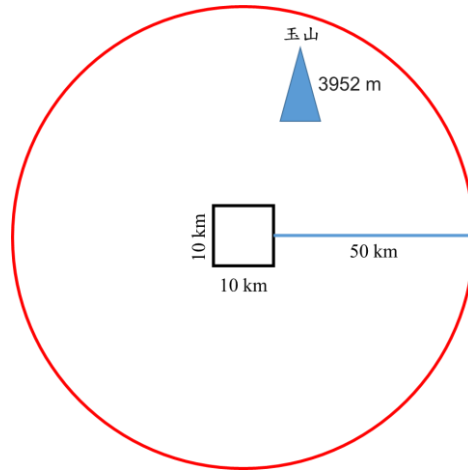


圖 1.3.2-2 台灣本島地區目標受體點搜尋尺丘高度之範圍示意圖

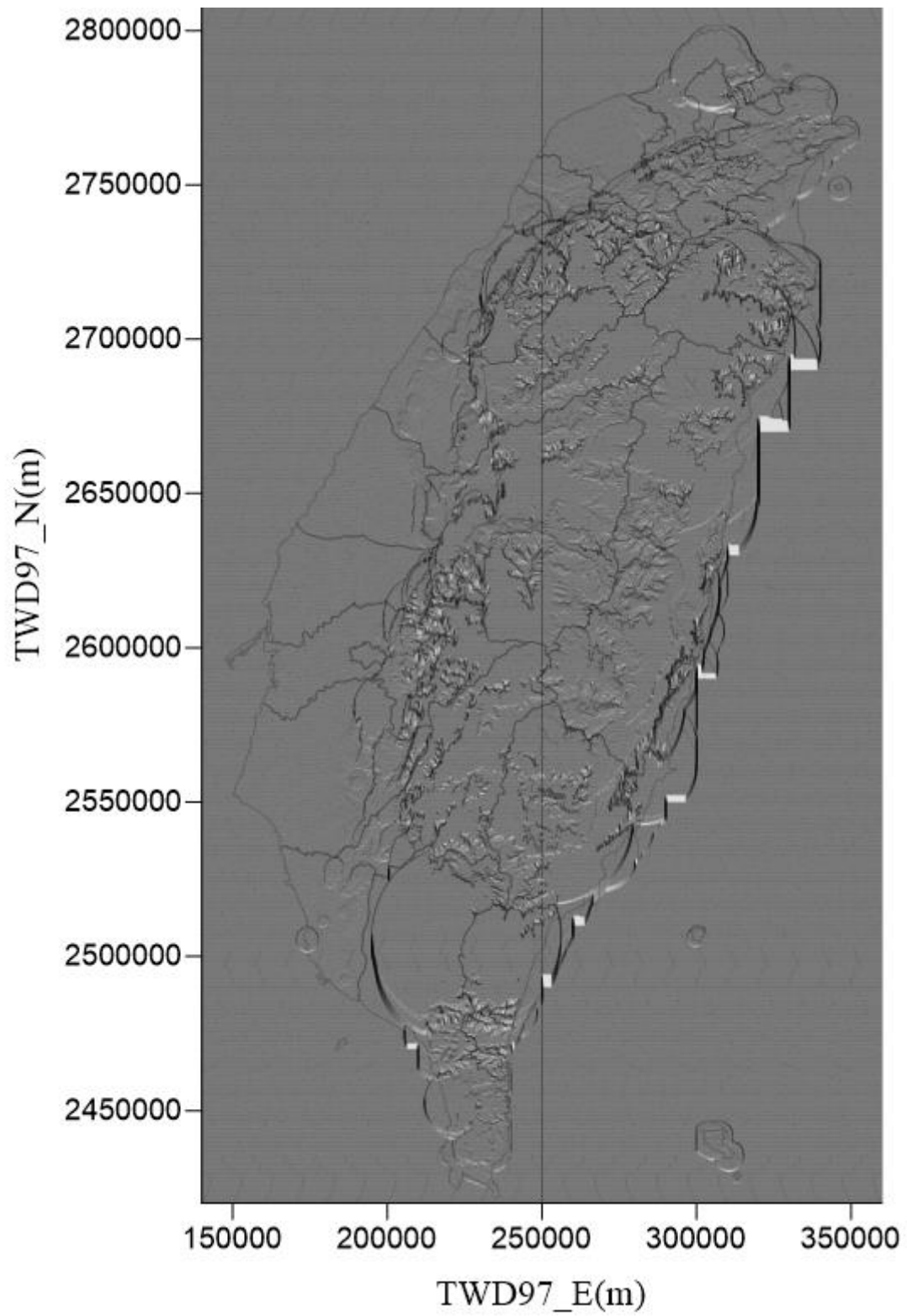


圖 1.3.2-3 本計劃建置之台灣本島 100 × 100 m 解析度尺丘高度資料庫

1.3.3 本土化 AERMOD 地形資料庫

執行 AERMOD 模式必須提供受體點之地程高度與尺丘高度才能進行符合本規範之模式模擬(配合 DFAULT 之設定)。模式支援中心提供(<https://aqmc.epa.gov.tw>)內含地程高度與尺丘高度(100 公尺解析度)之地形資料檔案(.TER)，其格式如表 1.3.3-1 所示。模式支援中心將台灣本島、金門、澎湖與連江等地區，共被劃分為 439 個之地形區域，各地形區域之編號與劃分方法與模式模擬氣象區域完全相同。使用者須依照環保署公告之「高斯擴散模式 AERMOD 使用規範」選用正確之地形資料檔案。

表 1.3.3-1 本土化 AERMOD 地形資料檔案(.TER)之格式說明

| 編號 | 代號 | 項目 | 單位 | 資料格式 |
|----|---------|-----------------|----|-------|
| 1 | xx | UTM XX(TWD_97) | m | I6 |
| 2 | yy | UTM YY (TWD_97) | m | I9 |
| 3 | terrain | 地程高度 | m | F10.2 |
| 4 | hill | 尺丘高度 | m | F10.2 |

參考資料

- USEPA, 2013, AERSURFACE User's Guide, EPA-454/B-08-001, (Revised 01/16/2013), U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina.
- USEPA, 2018a, User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD), EPA-454/B-18-001, April 2018, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina.
- USEPA, 2018b, User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET), EPA-454/B-18-002, April 2018, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina.
- USEPA, 2018c, User's Guide for the AERMOD Terrain Preprocessor (AERMAP), EPA-454/B-18-004, April 2018, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina.
- Carson, D. J., 1973: The development of a dry inversion-capped convectively unstable boundary layer. *Quart.J.Roy.Meteor.Soc.*, 99, 450-467.
- Deardorff, J. W., 1980: Progress in Understanding Entrainment at the Top of a Mixed Layer. Preprints, Workshop on the Planetary Boundary Layer, American Meteorological Society, Boston, MA.
- Garratt, F. R., 1992: The Atmospheric Boundary Layer. Cambridge University Press, New York, New York, 334pp.
- Holtslag, A. A. M. and A. P. van Ulden , 1983. A Simple Scheme for Daytime Estimates of the Surface Fluxes from Routine Weather Data. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22:517-529.
- Hanna, S. R. and J. S. Chang, 1993: Hybrid Plume Dispersion Model (HPDM), improvements and testing at three field sites. *Atmos.Environ.*, 27A, 1491-1508.
- Panofsky, H. A. and J. A. Dutton, 1984: Atmospheric Turbulence: Models and Methods for Engineering Applications. John Wiley and Sons, New York, 417pp.
- Perry, S. G., 1992: CTDMPLUS: A dispersion model for sources in complex topography. Part I: Technical formulations. *J.Appl.Meteor.*, 31, 633-645.
- Schulman, L.L., D.G. Strimaitis, and J.S. Scire, 2000: Development and Evaluation of the PRIME Plume Rise and Building Downwash Model. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 50, pp 378-390.
- Venkatram, A., 1980: Estimating the Monin-Obukhov length in the stable boundary layer

- for dispersion calculations. Bound. Layer Meteor., 19, 481-485.
- van Ulden, A. P., and A. A. M. Holtslag (1985). Estimation of Atmospheric Boundary Layer Parameters for Diffusion Applications. J. Climate Appl. Meteor., 24:1196-1207.
- Weil, J. C. and R. P. Brower, 1983: Estimating convective boundary layer parameters for diffusion applications. PPSP-MD-48, Maryland Power Plant Siting Program, Maryland Department of Natural Resources, Baltimore, MD, 45pp.
- Wynngaard, J. C., 1988: Structure of the PBL. Lectures on Air Pollution Modeling. Venkatram, A., and Wynngaard, J. C., eds., American Meteorological Society, 9-57pp
- 中央氣象局，2020，觀測資料查詢(<https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/>)
- 內政部，2020，20 公尺網格間距的數值地形模型資料表格
- 行政院環境保護署，2019，建置 AERMOD 本土化模式及空品模式審驗制度專案工作計畫(一)，行政院環境保護署專案成果報告。
- 行政院環境保護署，2021，建置 AERMOD 本土化模式及空品模式審驗制度專案工作計畫(二)，行政院環境保護署專案成果報告。