

中央氣象局中尺度動力分析系統(Mesoscale Dynamic Analysis System, MDAS)引入觀測資料種類與品質控制

王建勛¹ 邱炳魁¹ 鄧仁星¹
中央氣象局氣象科技研究中心¹

摘要

中央氣象局中尺度動力分析系統(Mesoscale Dynamic Analysis System, MDAS)為中央氣象局與美國國家海洋與大氣總署(NOAA)下之GSD(Global system division)合作發展的複雜地形區的三維連續變分資料同化分析系統。本系統為三維變分資料同化系統，並以追隨地勢座標下之三維氣象物理方程為變分法的約束條件，利用連續變分求出高解析度氣象場資料。

為了滿足未來作業化的需求，MDAS先建立一個觀測資料收集及品質控制系統，此前置處理系統資料收集現有的觀測資料，其資料來源為中央氣象局。系統收集的觀測資料有測站觀測資料、GTS資料、雷達反衍資料、衛星反衍資料，資料經過品質控制後整理成特定格式以供MDAS系統使用。

關鍵字：動力分析、MDAS

一、前言

中央氣象局中尺度動力分析系統(Mesoscale Dynamic Analysis System, MDAS)為中央氣象局與美國國家海洋與大氣總署(NOAA)下之GSD(Global system division)合作發展的複雜地形區的三維連續變分資料同化分析系統。

現代的作業數值天氣預報模式使用更一般性的氣象流體物理原始方程，為避免天氣預報模式因初始氣象分析場未能滿足模式的物理導致大振幅的虛假重力波被模式激發出來，從而影響整個預報場的準確度。因此必須對由氣象觀測資料分析得到的初始場做初始化或平衡的手續。在綠能計畫中針對複雜地形區域的氣流分析對台灣附近的風能評估非常重要。一般來說，現有的風資訊來自各種不同的觀測系統，這些觀測系統各有不同的觀測誤差和分辨率。此外地形也限制了它們的代表性，需使用追隨地勢座標且對大氣邊界層內的風速垂直分布做若干假設。基於此，系統中所使用的變分資料同化中之動力約束條件採追隨地勢座標的複雜非靜力原始方程。

MDAS之泛函J可以寫成為：

$$J = \omega_1 J_1 + \omega_2 J_2$$

$$J_1 = \iiint \sum_{i,j} \alpha_{i,j} (O_j - X_j)^2$$

$$J_2 = \iiint (\beta_1 P_1^2 + \beta_2 P_2^2 + \beta_3 P_3^2 + \beta_4 P_4^2 + \beta_5 P_5^2 + \beta_6 P_6^2 + \beta_7 P_7^2)$$

其中 J_1 為觀測資料的泛函， J_2 為中央氣象局動力降尺度系統(Mesoscale Dynamic Downscaling System, MDSS)的泛函，其亦為變分資料同化中的約束條件的泛函。 ω_1 和 ω_2 分別為觀測資料和約束條件的權重。觀測資料的泛函(J_1)中， $\alpha_{i,j}$ 為觀測資料的種類與觀測變數的權重， i 為傳統觀測資料種類， j 為觀測資料的變數。引入的觀測資料變數(j)有5種，分別為風向，風速，氣壓，虛位溫，比濕。 O_j 為觀測資料， X_j 則為周圍網格點資料內插至 O_j 所在位置之值。因MDAS在降尺度的過程中觀測資料與動力降尺度並重，因此給定MDAS中有關觀測資料和約束條件的權重(ω_1 和 ω_2)均為1。動力降尺度的泛函(J_2)中， $P_1 \sim P_3$ 為動量方程， P_4 為質量守恆方程， P_5 為熱力方程， P_6 為水汽方程， P_7 為平滑項， $\beta_1 \sim \beta_7$ 分別為各項的權重。

資料的蒐集與處理，為數值預報作業及資料同化重要的一個環節，因此在進行觀測資料同化前，考慮到作業化的需求，先建立一個前置觀測資料收集處理

的系統，以提供較完整的觀測資料且有品質的資料給中尺度動力分析系統作業(MDAS)。

二、觀測資料類型來源與種類

觀測資料來源有經由氣象局接收的 Global Telecommunication System(GTS)觀測資料以及氣象局各種測站觀測資料及反衍資料。GTS 資料由 CWB 定時接收來自美國(GWDI)及日本(JWA)兩條線路的資料，接續傳送至本局自動氣象資料處理系統(AMDP)，進行不同報別資料分類、解碼、檢定，將結果轉成 FGGE 格式，並依據觀測時間間隔，將資料分類並存取至資料池後提供不同單位使用。

氣象觀測資料種類分成五大類，地面(SURFACE)、飛機(AIRCRAFT)、探空(RAOB)、衛星資料(SATELLITE)及雷達觀測資料(RADAR)，資料主要的報別、觀測類型及氣象變數詳細紀錄於表一。

地面測站資料有八種，分別為機場站(Metar,sa)、綜觀站(Synoptic,sm)、局屬測站(Meso,mso)、局屬自動氣象站(Newshp,auto)、局屬自動雨量站(Rain_gauge,cum)、農業站(Agriculture,agr)、海面船舶報(Ship,sh)與漂浮站報(Buoy,ss)，觀測時間解析度 cum 與 auto 為 10 分鐘;sm、sa 與 agr 為 1 小時;sh 與 ss 不定時傳回。

飛機資料包含了民用飛機觀測(Airep,ua)、投落送(Tempdrop,ux)、颱風渦漩之飛機偵查(Vortex_Recco,ur)，觀測成本高，資料取得不易，不定時有資料。

探空資料有兩種來源：第一種為在陸地上施放的高空溫壓報(Temp,us)與高空風報(Pilot,up)，第二種為在海面船舶施放的探空溫壓報(Tempship,uk)，探空資料皆為單點隨高度變化，每十二小時一筆資料(00、12 UTC)。

衛星資料包含了 GTS 提供之衛星風報(Satob,ts)、衛星探空(Satem,tt)、高密度衛星風(Hiden_Satwind,tw)之外另外接收了衛星雲導風(Cloud_Drift_Winds,cdw)及 Metop-A 衛星籌載(Advanced Scatterometer,ascat)，衛星資料空間密度高且範圍廣。其中 GTS 提供之衛星

資料觀測時間較不固定，雲導風於有天氣系統條件時(有雲)資料密集度較高。ASCAT 有兩顆酬載衛星，每日平均於 00、12UTC 通過東亞地區，故台灣地區每日會有 4 筆即時海面風場資料，資料水平解析度為 12.5 公里 FGGE 格式。

雷達觀測資料則為中央氣象局劇烈天氣系統(QPESUMS)之反演風場及徑向風場為主，徑向風場即時作業化接收七顆雷達資料(ISHI、RCCG、RCCK、RCGI、RCHL、RCKT、RCMK、RCWF)九層仰角，達雙都卜勒合成風場利用 RCWF、RCKT、RCCG、RCHL、RCMK 及 RCCK 六座雷達反演三維等經緯網格資料(張等，2014)，資料解析度為 0.0125 度。

各種觀測資料來源不同，建立即時傳輸系統接取資料，其中 GTS 資料由資訊中心 AMDP 取得，氣象局局屬測站資料由第四組 QPESUMS 系統即時接收，雷達資料與衛星雲導風資料由衛星中心取得。ASCAT 資料由 USGODAE 定時抓取。

三、觀測資料品質控制

地面資料品質控制部分檢驗依據 WMO 對地面自動氣象站的重大誤差方法(I. Zahumensky,2004)，包含了顯著錯誤檢查(gross error check)、合理性檢查(plausible value check)、內部一致性檢查(internal consistency check)。顯著錯誤檢查為氣象變數不得超過該測量儀器之可量測範圍，否則標示為錯誤資料，(1)氣溫應介於-30°~60°C 範圍內。(2) 氣壓應介於 800~1100hpa 之間。(3)風速應介於 0~120ms⁻¹。合理性檢查為針對平地測站氣象變數應落於合理範圍，(1)測站溫度應介於 0°~40°C。(2)測站氣壓應介於 950~1035 hPa 之間。(3) 觀測風速應介於 0~60 m/s。內部一致性檢查為測站氣象須符合物理意義，(1)露點溫度需小於等於氣溫。(2)陣風風速需大於等於平均風風速。(3)風速等於 0 時，風向需等於 0。(4)氣壓於 400hPa 以上時，溫度小於 0°C。風場適用性參考劉(2014)臺灣地區自動氣象站地場勘之可行適用性評估，利用影像技術及雷射測距儀定量評估測站周圍受遮蔽情形，客觀列出全方位受遮蔽之測站名單，將其風場列入黑名單。

高空資料每一筆資料來自不同觀測儀器其觀測要素皆不同(誤差、代表空間解析度等)，所以資料品質相當重要。高空資料品質控制參考 LAPS 相關品質架構進行資料篩選，LAPS 說明文件可參閱 LAPS-README (http://stevealbers.net/albers/README_out.html)。有四個基本篩選，分別為時間、空間、氣象變數誤差及範圍篩選。觀測時間篩選考量每一種高空觀測資料有不同允許區間(time window) 如 Tempship、Temp 為 +/- 60 分鐘；Airep、Satob 與 Satem 等為 +/- 30 分鐘，如果該筆資料觀測時間超過區間則不引入，而地面氣象站觀測空間密集且時間解析度高，因此 time window 為 10 分鐘，空間上篩選已本研究模擬範圍為主，經度 117.379°~123.728°、緯度 21.195°~26.825°、高度 15500 公尺。氣象變數篩選，在高空資料風場初步的品質管制為觀測值風速與模式背景場(background)在相同觀測點上風速值差異高於門檻值以上，則該筆觀測值不採用，不同類型資料門檻值定義分別為飛機報 10 m/s、衛星風場 10 m/s、剖風儀資料 20 m/s。溫度場初步的品質管制應用於 ROAB 類型資料，該層探空溫度與模式背景場相同位置的溫度差異若高於攝氏 10 度以上，則該筆探空資料補引入，其中探空資料亦會進行儀器結冰層檢驗，當有結冰發生時該層溫度、露點溫度列為 miss value。

衛星資料之衛星雲導風(cdw)每筆資料有提供一個準確度為該筆資料可信度，本前置觀測資料處理系統取大於 0.7 以上其真實性較高。ASCAT 資料品質部分參考 Chou et al.(2013)針對東亞地區 ASCAT 風場資料評估，風速在 12~18 m/s 資料品質最好，此標準低於衛星技術規範，但在弱風速時風向 bias 較大，本研究目前不使用風速小於 2m/s 的風速資料。

雷達資料徑向速度與反演合成風場資料，在颱風時期偶有折錯程序處理失敗產生不合理風場，在品質管制部分初步使用颱風中心定位資訊(模式 background 或預報中心提供之警報單)搭配 Rankine vortex 基本假設，針對不合理之風場移除。

四、觀測資料輸出格式

不同觀測資料會分別讀取，進行品質後會統一固定格式(本研究設定為 ASCII)輸出，提供給 MDAS 接介使用。目前輸出地面(sfc)、探空(snd)、飛機衛星(sat)與雷達(rad)四種資料，範例可參考圖 2。

地面資料(ingest_sfc_yyyy.mm.dd.hh.dat, yyyy-mm-dd-hh 分別是年、月、日、時)，地面資料提供測站位置、溫度、風場、氣壓、輻射、降水、雲觀測六類資訊，其格式說明如下。第一行為測站代碼、WMO 代碼、測站隸屬單位、緯度、經度、高度、觀測與資料傳輸時間差。第二行為測站類型(METAR、SYNOP、LDAD、MARTIM)、測站型態(MESO、AGR、SHP、CUM、MVG、FIX)、現在天氣。第三行為溫度、溫度誤差、露點溫度、露點溫度誤差、相對溼度、相對溼度誤差，第四行為風向、風速、陣風風向、陣風風速、風向誤差、風速誤差。第五行為高度撥定氣壓(機場站使用)、測站氣壓、測站海平面、3 小時氣壓趨勢、3 小時氣壓改變量、氣壓誤差、高度計誤差。第六行：能見度、能見度誤差、太陽輻射、太陽輻射誤差、地表面/海平面溫度、地溫/海溫誤差、地表面溼度、地表面溼度誤差。第七行為 1 小時、3 小時、6 小時、24 小時降水量、雪深、降水量誤差、雪深誤差。第八行為雲觀測層數、24 小時最高溫、24 小時最低溫。

探空資料(ingest_snd_yyyy.mm.dd.hh.dat)，格式輸出第一行為世界氣象組織代碼、此探空資料垂直層數、緯度、經度、高度、儒略曆時間、測站類型。第二行後續輸出資料，高度、該層、溫度、露點溫度、風向、風速、儒略曆時間、西元曆時間、緯度、經度。

飛機及衛星資料(ingest_sat_yyyy.mm.dd.hh.dat)，變數包括該筆觀測資料高度、該筆資料氣壓、氣溫、風向、風速、儒略曆時間、西元曆時間、緯度、經度、資料類型(AIREP、CDW、SATOB、ASCAT 四種)。

雷達資料(ingest_rad_yyyy.mm.dd.hh.dat)，觀測資料高度、風向、風速、儒略曆時間、西元曆時間、緯度、經度、資料類型(QP_RW、QP_RV 兩種)。

引入 MDAS 所需氣象變數為氣壓、虛位溫、比濕、風向、風速 5 項，故 MDAS 引入之觀測資料及變數如圖 1 所示，其中雨量站(cum)、衛星探空觀測(tt)無所需變數及高密度

衛星風(tw)目前已停止更新，故不引入。

五、結論

前置觀測資料收集處理系統導入系統設定有黑名單機制，可針對測站或測站觀測變數進行不適任屏蔽。系統並設計有可以限制觀測資料輸出之經緯度範圍，以避免輸出範圍及資料量過大。此系統將氣象局現行有符合 MDAS 所需變數之氣象觀測資料引入，並經過品質控制後產出 MDAS 所需之資料，然而資料品質控制並不是一件簡單的事，本系統之資料品質控制部分不論在地面觀測資料或是高空觀測資料仍有一定的改進空間。

參考文獻：

曾忠一(1997)，氣象資料同化，渤海堂文化公司，台北市。
劉清煌(2015)，臺灣地區自動氣象站資料之品質分析與評估。

張保亮、唐玉霜(2014)，雙都卜勒雷達風場分析在侵台颱風海面風力估計之研究。

Chou, K.-H.; Wu, C.-C.; Lin, S.-Z. Assessment of the ASCAT wind error characteristics by global dropwindsonde observations. *J. Geophys. Res.* 2013, 118, 9011–9021.

Zahumensky, Guidelines on quality control procedures for data from automatic weather stations, World Meteorological Organization, Switzerland, Geneva, 2004.

表 1，地面與高空觀測資料內容。

地面	類型	氣象變數	接收時間
metar(sa)	機場站	風向、風速、溫度、露點溫度、雨量、雲高、雲量、能見度	逐時
synoptic(sm)	綜觀站	風向、風速、溫度、露點溫度、海平面氣壓、雨量、雲高、雲量、能見度	逐時
mesonet(mso)	局屬氣象站	測站氣壓、海平面氣壓、溫度、最高溫、最低溫、露點溫度、風向、風速、飽和水氣壓、水氣壓、相對濕度、雨量	逐時
agriculture(agr)	農業合作站	風向、風速、溫度、最高溫、最低溫、露點溫度、雨量、蒸發量、平均風速、平均風向、日照時數、地溫	逐時
newshp(auto)	自動站	風向、風速、溫度、測站氣壓、相對溼度、雨量	十分鐘
rain_gauge(cum)	自動雨量站	雨量	十分鐘
ship(sh)	船舶報	海平面氣壓、溫度、露點溫度、風向、風速、雨量、雲量	不定時
buoy(ss)	漂浮站	海平面氣壓、空氣溫度、海面溫度、風速、風向、浪高	不定時

高空	類型	氣象變數	垂直分布	水平分布	接收時間
airep(ua)	民航飛機	氣壓、高度、溫度、風向、風速	多層(疏)	海陸	不定時
tempdrop(ux)	飛機投落送	氣壓、高度、溫度、溫度露點差、風向、風速	多層(疏)	海陸	不定時
vortex_recco(ur)	飛機偵查	氣壓、高度、溫度、溫度露點差、風向、風速	多層(疏)	海陸	不定時
tempship(uk)	船舶探空	氣壓、高度、溫度、溫度露點差、風向、風速	單點隨高度	海面	00,12Z
pilot(up)	地面高空風	氣壓、高度、風向、風速	單點隨高度	陸地	00,12Z

temp(us)	地面探空	氣壓、高度、溫度、溫度露點差、風向、風速	單點隨高度	陸地	00,12Z
satem(tt)	衛星探空	有效雲層氣壓、對流層氣壓與溫度、表面層溫度、雲層厚度、標準層氣壓、可降水量	多層(密)	海陸	三小時
hiden-satwind(tw)	衛星風場	氣壓、風向、風速	多層(密)	海陸	停止更新
satob(ts)	衛星風場	壓力、溫度、風向、風速	多層(密)	海陸	三小時
ASCAT	衛星風場	風向、風速	10米	海面	00,12Z
Radial_Velocity(RV)	雷達	徑向風場	9層仰角	球座標	10分鐘
Retrieved_Wind(RW)	雷達	雙都卜勒合成風場	1~10km	經緯網格	10分鐘

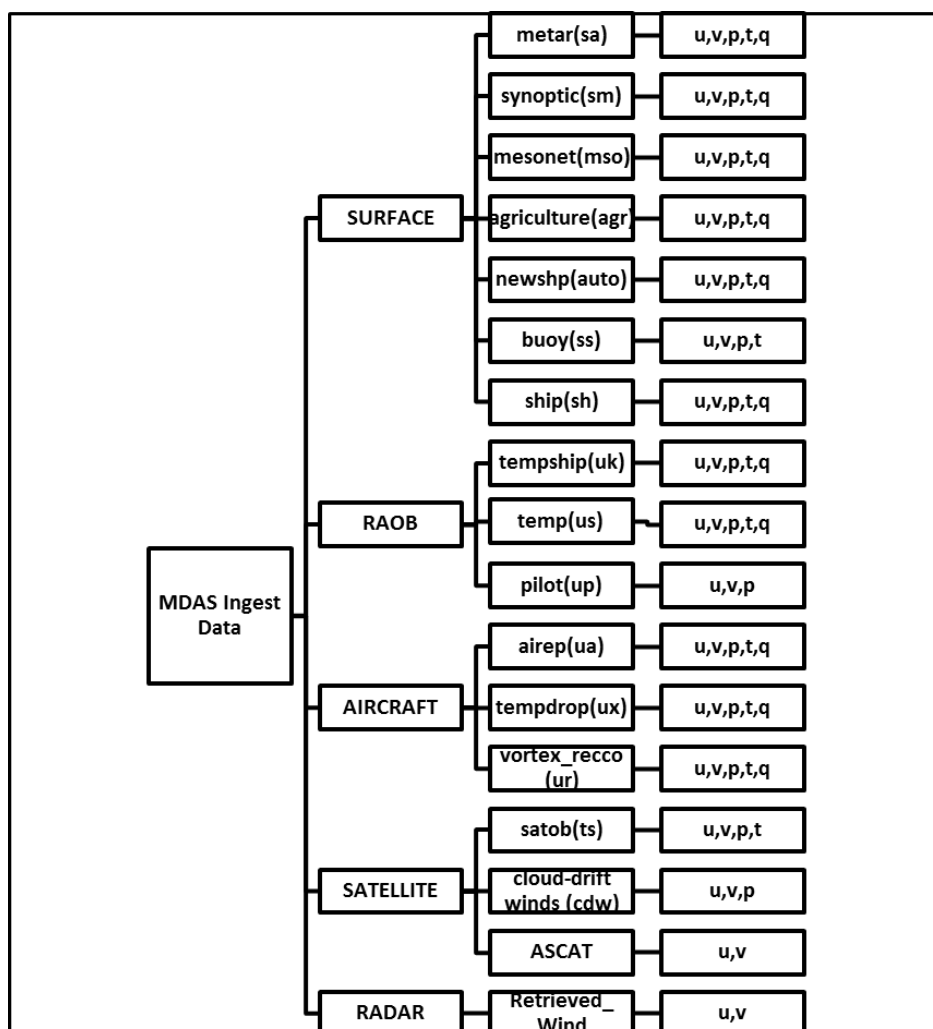


圖 1，觀測資料類型及可引入 MDAS 可用氣象變數。

@ingest_sfc_yyyy.mm.dd.hh.dat

```

0 年,月,日,時,分,資料筆數
1 測站代碼,WMO代碼,資料提供單位,緯度,經度,高度,0
2 測站類型,測站型態,天氣狀況
3 溫度(F),溫度誤差(F),露點溫度(F),露點溫度差(F),相對溼度(%),相對溼度誤差(%)
4 風向(deg),風速(m/s),陣風風向(deg),陣風風速(m/s),風向誤差(deg),風速誤差(m/s)
5 高度(m),測站氣壓(hPa),海平面氣壓(hPa),3小時氣壓趨勢(hPa),3小時氣壓改變量(hPa),氣壓誤差(hPa),高度計誤差(m)
6 能見度(mile),能見度誤差(mile),太陽輻射量,太陽輻射誤差,表面溫度(陸C/海F),地溫(C),地表溼度(%),地表溼度誤差(%)
7 1小時,3小時,6小時,24小時降水量(inch),雪深(inch),降水量誤差(inch),雪深誤差(inch)
8 雲觀測層數,24小時最高溫(F),24小時最低溫(F)
9 雲分量,雲高

2017-12-31-00
1 RCLY 451 22.0318 121.5220 25.0 0
2 METAR UNK UNK
3 293.15 9.00 290.15 9.00 -99.90 50.00
4 -99.9 -99.9 -99.9 -99.9 10.00 1.00
5 1021.00 -99.90 -99.90 -99.90 -99.90 0.68 0.68
6 8000.00 5.000 -99.9 0.0 -99.90 0.00 -99.90 0.00
7 -99.90 -99.90 -99.90 -99.90 -99.9 0.01 1.0
8 3 -99.90 -99.90
SCT 325.
BKN 505.
BKN 1225.
    
```

@ingest_snd_yyyy.mm.dd.hh.dat

```

測站代碼,資料筆數,緯度,經度,高度,西元歷,資料類型
*46750 146 22.6718 120.4419 27.00 173650047 TEMP
高度(m),氣壓(hPa),溫度(C),露點溫度(C),風向(deg),風速(m/s),儒略曆,西元曆,緯度,經度
-99.90 1017.00 15.60 13.90 0.00 0.00 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
-99.90 1016.00 16.80 15.40 60.00 1.00 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
-99.90 1014.00 -99.90 -99.90 125.00 1.50 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
174.00 1000.00 16.60 15.40 145.00 1.00 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
-99.90 990.00 -99.90 -99.90 195.00 0.50 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
-99.90 978.00 -99.90 -99.90 295.00 1.00 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
-99.90 976.00 17.20 14.90 -99.90 -99.90 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
-99.90 961.00 -99.90 -99.90 350.00 4.50 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
-99.90 954.00 17.20 11.20 -99.90 -99.90 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
-99.90 939.00 -99.90 -99.90 5.00 9.50 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
840.00 925.00 15.00 12.50 360.00 9.00 173650047 1712310047 22.6718 120.4419
    
```

@ingest_sat_yyyy.mm.dd.hh.dat

```

測站代碼,高度(m),氣壓(hPa),溫度(C),風向(deg),風速(m/s),儒略曆,西元曆,緯度,經度,資料類型
CNFNXP -99.90 1009.00 15.00 137.00 1.00 173642333 1712302333 24.5516 118.1218 AIREP
CNFNXP -99.90 984.00 14.00 76.00 3.00 173642333 1712302333 24.5516 118.1418 AIREP
CNFPYM -99.90 991.00 13.00 16.00 1.00 173650027 1712310027 24.5516 118.1418 AIREP
CNFNXP -99.90 973.00 13.00 53.00 3.00 173642334 1712302334 24.5616 118.1418 AIREP
CNFPYM -99.90 980.00 12.00 24.00 2.00 173650027 1712310027 24.5616 118.1418 AIREP
CNFPYM -99.90 952.00 11.00 13.00 4.00 173650028 1712310028 24.5616 118.1518 AIREP
CNFNXP -99.90 948.00 11.00 32.00 4.00 173642334 1712302334 24.5816 118.1518 AIREP
CNFNXP -99.90 511.00 -8.00 272.00 30.00 173642351 1712302351 26.2016 117.9717 AIREP
CNFNXP -99.90 511.00 -9.00 271.00 30.00 173642353 1712302353 26.4016 117.9717 AIREP
-99.90 850.00 -99.90 59.00 7.40 173650000 1712310000 21.5300 120.8400 CDW
-99.90 900.00 -99.90 68.00 8.60 173650000 1712310000 21.3800 121.0100 CDW
-99.90 275.00 -99.90 271.00 39.70 173650000 1712310000 22.6800 123.1700 CDW
-99.90 350.00 -99.90 272.00 35.00 173650000 1712310000 22.7200 123.4600 CDW
-99.90 350.00 -99.90 272.00 34.50 173650000 1712310000 22.5600 123.1200 CDW
-99.90 275.00 -99.90 272.00 34.80 173650000 1712310000 22.5500 123.4000 CDW
-99.90 650.00 -99.90 262.00 18.00 173650000 1712310000 26.8200 122.5900 CDW
    
```

@ingest_rad_yyyy.mm.dd.hh.dat

```

高度(m),風向(deg),風速(m/s),儒略曆,西元曆,緯度,經度,資料類型
1000.000 255.9534 20.07385 201707301800 201707301800 22.17500 121.2875 QP_RW
1000.000 257.2114 20.44442 201707301800 201707301800 22.17500 121.3000 QP_RW
1000.000 254.5316 20.41458 201707301800 201707301800 22.17500 121.3125 QP_RW
1000.000 250.3620 19.58654 201707301800 201707301800 22.18750 121.2875 QP_RW
1000.000 252.6635 20.51435 201707301800 201707301800 22.18750 121.3000 QP_RW
1000.000 256.3974 20.47859 201707301800 201707301800 22.20000 121.3000 QP_RW
1000.000 239.6717 19.01070 201707301800 201707301800 22.20000 121.3500 QP_RW
1000.000 242.2756 20.46290 201707301800 201707301800 22.20000 121.3625 QP_RW
1000.000 242.1815 18.79776 201707301800 201707301800 22.21250 121.3500 QP_RW
1000.000 246.1509 20.12003 201707301800 201707301800 22.21250 121.3625 QP_RW
1000.000 250.7000 20.48255 201707301800 201707301800 22.22500 121.3375 QP_RW
1000.000 244.3645 19.70824 201707301800 201707301800 22.22500 121.3375 QP_RW
    
```

圖 2，觀測資料接介 MDAS 資料格式。